

**Invloed van de klimaatverandering op de
Nederlandse melkveehouderij; een verkenning
van de effecten voor bedrijfsvoering, economie
en milieu in 2050**

**Judith Deusings
Januari 2008**

Voorwoord

De klimaatverandering heeft momenteel grote invloed op de Nederlandse samenleving. Enerzijds wordt geprobeerd de uitstoot van broeikasgassen te verminderen en anderzijds worden er aanpassingen doorgevoerd om waar dit mogelijk is Nederland aan te passen aan het 'nieuwe' klimaat. Ditzelfde geldt ook voor de Nederlandse melkveehouderij. Deze sector heeft in Nederland een aanzienlijk aandeel in de broeikasgassenuitstoot. Maar wat zijn de gevolgen voor het Nederlandse melkveehouderijbedrijf als de klimaatverandering doorzet? Tijdens mijn klein afstudeervak aan de leerstoelgroep bedrijfseconomie heb ik mij als student dierwetenschappen hierin verdiept en in deze scriptie staan mijn bevindingen beschreven. Ik wil mijn begeleider Paul Berentsen hierbij hartelijk danken voor zijn begeleiding en goede raad.

Judith Deusings

Wageningen, januari 2008

Samenvatting

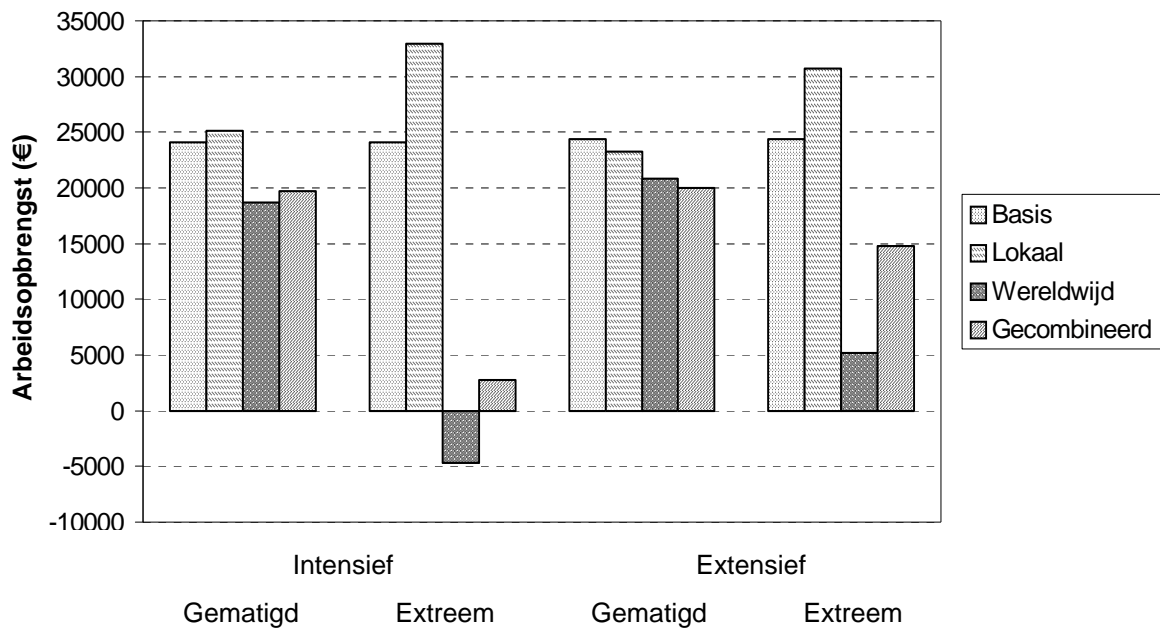
Dat het klimaat verandert is niet meer te ontkennen. Er worden steeds meer veranderingen waargenomen zoals gemiddeld hogere temperaturen, een stijgende zeespiegel en veranderingen in neerslag en extreem weer, en deze zullen de komende jaren verder doorzetten. Al deze veranderingen hebben wereldwijd vergaande invloed op onder andere gletsjers, koraalriffen en kustverdediging. De gevolgen in Nederland zijn een stijging van de temperatuur vergelijkbaar met die van het wereldgemiddelde, verkorting van de duur van winters, meer neerslag in de winter en zwaardere buien in de zomer. De doelstelling van dit onderzoek is het vaststellen van de mogelijke invloed van de klimaatverandering op de Nederlandse melkveehouderij en van de gevolgen voor bedrijfsvoering, economie en milieu.

De Nederlandse melkveehouderij zal de komende jaren ook veranderingen als gevolg van de klimaatverandering ondervinden. De beschikbaarheid en prijs van diverse voedermiddelen wordt vooral beïnvloed door de opkomst van energiegewassen en de daarmee gepaarde prijsstijging. In het meest extreme geval heeft dit in 2050 een prijsstijging voor krachtvoer van 70% ten gevolg. Dit worden ook wel de wereldwijde effecten van klimaatverandering genoemd. De teelt van gras en maïs is een zeer weersafhankelijke activiteit op een melkveebedrijf en wordt beïnvloed door de stijgende temperatuur, meer neerslag, hogere stralingswaarden en een hogere CO₂ concentratie in de lucht. Onder andere door het verlengde groeiseizoen van gras zal de opbrengst per hectare grasland toenemen. De maïsproductie zal om verschillende redenen afnemen. Het weideseizoen zal als gevolg van het verlengde groeiseizoen en de hogere temperaturen langer worden. Dit alles zijn lokale effecten van klimaatverandering. Op dierniveau zullen ook een aantal veranderingen optreden. Melkkoeien kunnen als gevolg van de hogere temperaturen last krijgen van hittestress. Dit kan een productiedaling, verminderde vruchtbaarheid en zelfs pensverzuring tot gevolg hebben. Het laatste gevolg van de klimaatverandering is de opkomst van nieuwe tropische ziektes. Voor maïs is dit bijvoorbeeld bladschimmel wat een aanzienlijke gewasopbrengst daling tot gevolg kan hebben. Bij melkkoeien heeft het blauwtong virus de afgelopen twee jaar voor gezondheidsproblemen en een daarmee gepaarde productiedaling gezorgd.

Uit onderzoek naar de gevolgen van de klimaatverandering in andere landen blijkt dat de producenten van agrarische producenten in een aantal gevallen wel varen bij de opwarming van de aarde. Uitzondering zijn de zuidelijk gelegen landen met een huidig klimaat dat warm en droog is, deze zullen door de toenemende droogte productieverlies lijden.

Om te achterhalen wat de gevolgen voor bedrijfsvoering, economie en milieu zijn op een Nederlands melkveebedrijf in 2050 is het LP model van Berentsen en Giessen (1995) gebruikt. Het model is aangepast aan de hand van de bevindingen in de literatuurstudie. Het LP model simuleert een melkveebedrijf met 104 melkkoeien en 800 ton melkquotum. In dit onderzoek zijn door het model vier verschillende bedrijfssituaties gesimuleerd (basissituatie, lokale klimaatveranderingseffecten, wereldwijde klimaatveranderingseffecten en gecombineerde effecten). Hiervoor zijn de snijmaïs en grasproductie, krachtvoerkosten en kosten snijmaïs aankoop en opbrengst maïsverkoop veranderd. Er is voor elke verandering gebruik gemaakt van een matig en een extreem scenario. Voor elke

bedrijfsituatie zijn de resultaten berekend bij een lage en een hoge intensiteit (12.000 en 16.000 kilo melk per hectare). De resultaten voor arbeidsopbrengst staan weergegeven in onderstaande figuur.



De belangrijkste conclusies naar aanleiding van de resultaten zijn de volgende. De Nederlandse melkveehouderij wordt beïnvloed door veranderingen in gewasopbrengst, ook wel de lokale klimaatveranderingseffecten genoemd, en de veranderingen op de wereldmarkt, ook wel de wereldwijde klimaatveranderingseffecten genoemd. De lokale effecten hebben een overwegend positief effect. De wereldwijde effecten hebben in alle gevallen een daling van de arbeidsopbrengst tot gevolg. Bij de gecombineerde effecten worden de negatieve wereldwijde effecten deels gecompenseerd door de lokale effecten. Het extensieve melkveebedrijf is beter bestand tegen de klimaatveranderingseffecten doordat het geen ruwvoer hoeft aan te kopen en geen kosten van mestafvoer heeft. Mais wordt een economisch onaantrekkelijk voedergewas doordat de productie per hectare afneemt en de prijs op de wereldmarkt stijgt.

<i>Hoofdstuk 1</i>	<i>Inleiding</i>	5
<i>Hoofdstuk 2</i>	<i>Literatuuronderzoek</i>	7
	2.1 Klimaatverandering	7
	2.1.1 Oorzaken en gevolgen.....	7
	2.1.2 Bijdrage van de Nederlandse melkveehouderij aan broeikasgasemissie	10
	2.1.3 Toekomstig klimaat in Nederland	10
	2.2 Invloed van de klimaatverandering op de melkveehouderij	12
	2.2.1 Beschikbaarheid en prijs van aangekochte voedermiddelen.....	12
	2.2.2 Teelt van gras en voedergewassen.....	21
	2.2.3 Diergezondheid, groei en reproductie	24
	2.2.4 Verspreiding van ziektes en plagen.....	26
	2.3 Vergelijkbaar onderzoek	28
	2.3.1 Verenigde Staten.....	28
	2.3.2 Afrika	29
	2.3.3 Finland.....	30
	2.3.4 Taiwan	30
<i>Hoofdstuk 3</i>	<i>Modelopzet en berekeningen</i>	33
	3.1 Het LP model	33
	3.2 Klimaatveranderingsscenario's.....	36
	3.2.1 Effecten van klimaatverandering lokaal.....	36
	3.2.2 Effecten van klimaatverandering wereldwijd	37
	3.3 Modelaanpassingen ten behoeve van de scenario's.....	38
	3.4 Opzet van de berekeningen.....	39
<i>Hoofdstuk 4</i>	<i>Resultaten</i>	41
	4.1 Intensief bedrijf	41
	4.1.1 Gematigde variant	41
	4.1.2 Extreem scenario	45
	4.1.3 Vergelijking matige en extreme variant bij de intensieve uitgangssituatie.....	48
	4.2 Extensief bedrijf.....	49
	4.2.1 Gematigde scenario	49
	4.2.2 Extreem scenario	52
	4.2.3 Vergelijking matige en extreme variant bij de extensieve uitgangssituatie	55
	4.3 Vergelijking intensief en extensief	56
<i>Hoofdstuk 5</i>	<i>Discussie en conclusies</i>	57
	5.2 Discussie	57
	5.1.1 Uitgangspunten	57
	5.1.2 Resultaten	58
	5.1.3 Vergelijkbaar onderzoek	59
	5.2 Conclusies	60
	Referenties.....	62
	Bijlage	66

De opwarming van het klimaatsysteem is onmiskenbaar. Reeds waargenomen veranderingen, zoals gemiddeld hogere temperaturen, een stijgende zeespiegel en veranderingen in neerslag en extreem weer, zullen verder doorzetten. Er zijn steeds meer gegevens en argumenten die dit beeld versterken en onderbouwen (IPCC, 2007). Zonder klimaatbeleidsmaatregelen verwacht het IPCC voor de komende eeuw een stijging van de wereldtemperatuur met 1,4 tot 5,8 graden, een toename van de hevigheid van regenbuien en een stijging van de zeespiegel met 9 tot 88 cm (KNMI, 2007).

Over de oorzaak van deze klimaatverandering zijn de meningen verdeeld. Sommigen beweren dat het klimaat verandert onder invloed van natuurlijke factoren zoals verschuivingen van continenten en zeestromen, verhoogde vulkanische activiteit en veranderende zonneactiviteit. Anderen beweren dat de mens een significante rol speelt in de veroorzaking ervan. De laatste vijftig jaar zijn de concentraties van broeikasgassen, zoals CO₂, in de atmosfeer sterk toegenomen door menselijke activiteiten. Dit heeft invloed op de gemiddelde temperatuur op aarde. Die is in de afgelopen honderd jaar wereldwijd tussen 0,56 en 0,92 graad gestegen, de laatste decennia in versneld tempo (KNMI, 2007).

Als gevolg van klimaatverandering zullen de ijskappen op Groenland en Antarctica sneller smelten. Zeespiegelstijging en erosie bedreigen een aantal kusten. De zeespiegelstijging leidt tot een toename van verzilting van de landbouw- en natuurgebieden in de kuststreek. Ecosystemen worden aangetast door hogere temperaturen. Oceanen nemen meer CO₂ op uit de lucht en worden zuurder, met nog onbekende maar waarschijnlijk grote gevolgen voor de marine biosfeer. Het aantal mensen dat leeft in gebieden met ernstig watertekort kan tot 2050 drie tot vier keer zo groot worden als in 1995. Nederland moet rekening houden met grotere en extreme neerslag die kan leiden tot overlast en grotere waterafvoer in de rivieren. Volgens deskundigen betekent de klimaatverandering voor Nederland dat er nog meer aanpassingen nodig zijn voor de verdediging tegen overstromingen, maar ook aanpassingen om het hoofd te kunnen bieden aan de gevolgen van in de toekomst vaker voorkomende extreem droge en hete zomers, zoals die van 2003 en 2006. Zoetwatervoorziening voor landbouw en glastuinbouw, maar ook het gebruik van oppervlaktewater als koelwater in de energiesector komen in de toekomst regelmatig in ernstige problemen. Dit geldt ook voor de scheepvaart dat vanwege steeds vaker voorkomende lage waterstanden in de zomer met veel minder vervoerscapaciteit te maken krijgt. Klimaatverandering heeft grote en nog deels onbekende gevolgen voor de natuur en de landbouw: het komen en verdwijnen van soorten planten en dieren gaat niet alleen door, maar dat proces versnelt zich en voltrekt zich bovendien op een weinig voorspelbare wijze (KNMI, 2007).

Zoals genoemd heeft de klimaatverandering invloed op de landbouw in Nederland. In dit rapport zal specifiek gekeken worden naar de invloed op de melkveehouderij in Nederland. Deze beïnvloeding kan plaatsvinden op verschillende manieren. De gevolgen van de klimaatverandering zullen over het algemeen leiden tot een verhoogde productie van voedergewassen a) omdat de gewassen door de verhoogde CO₂ concentratie de grondstoffen, water, straling en stikstof, efficiënter gaan gebruiken en b) omdat de opwarming van de aarde zorgt voor gunstigere groeiomstandigheden

voor voedergewassen (Olesen en Bindi, 2002). Om verschillende redenen heeft een verandering in het klimaat ook effect op de beschikbaarheid en prijs van diverse voedermiddelen. Een actueel voorbeeld is de stijgende graanprijs door het gebruik van graan als biobrandstof. Dit wordt door de overheid gestimuleerd omdat biobrandstoffen 'klimaatneutraal' zijn (Milieucentraal, 2007). Niet alleen op het gebied van gewasproductie moet men rekening houden met de klimaatverandering, ook op dierniveau kunnen veranderingen optreden (Rötter en Geijn, 1999). Extreme weersomstandigheden hebben een effect op de diergezondheid, groei en reproductie. Een voorbeeld hiervan is hittestress in de zomer maar daartegenover staat ook een verminderde energiebehoefte in de winter (Olesen en Bindi, 2002). Tenslotte verandert ook de verspreiding van ziektes en plagen (Rötter en Geijn, 1999).

De doelstelling die centraal staat in dit rapport is:

Bepalen van de mogelijke invloed van de klimaatverandering op de Nederlandse melkveehouderij en van de gevolgen voor bedrijfsvoering, economie en milieu.

De bijbehorende onderzoeksvragen zijn:

- Wat houdt de klimaatverandering precies in, wat zijn de mogelijke oorzaken en globale gevolgen?
- Hoe grijpt de klimaatverandering in op de Nederlandse melkveehouderij en hoe groot zijn die invloeden.
- Wat zijn de gevolgen voor bedrijfsvoering, economie en milieu van de klimaatverandering voor de Nederlandse melkveebedrijven?

De opbouw van dit rapport is als volgt: Hoofdstuk 2 van dit rapport bestaat uit literatuurstudie. Allereerst wordt de klimaatverandering in het algemeen beschreven en wordt de rol van de melkveehouderij in de veroorzaking ervan bekeken. Daarna wordt de klimaatverandering in Nederland toegelicht en wordt een beeld gegeven van het klimaat in Nederland op de lange termijn. In het tweede deel van het literatuuronderzoek wordt de invloed van de klimaatverandering op de melkveehouderij beschreven. Dit gebeurt aan de hand van verschillende deelonderwerpen zoals; beschikbaarheid en prijs van voedermiddelen, teelt van gras en voedergewassen, diergezondheid, groei en reproductie en verspreiding van ziektes en plagen. In het derde, en laatste, deel van de literatuurstudie wordt een overzicht gegeven van de opzet en uitkomst van vergelijkbaar onderzoek uit andere landen. In het derde hoofdstuk van dit rapport wordt het LP model van Berentsen en Giesen (1995) beschreven en wordt de informatie uit het literatuuronderzoek gebruikt om de modelparameters aan te passen. Ook wordt de opzet van de berekeningen beschreven. De resultaten van deze modelberekeningen worden in hoofdstuk 4 uiteengezet en toegelicht. In het laatste hoofdstuk worden de opzet en de resultaten van dit onderzoek bediscussieerd, er worden conclusies getrokken en er worden aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan.

In dit literatuurhoofdstuk wordt allereerst de klimaatverandering beschreven, de oorzaken en gevolgen ervan en de bijdrage van de Nederlandse melkveehouderij aan de uitstoot van broeikasgassen. Daarna wordt de klimaatverandering in Nederland toegelicht en wordt een beeld gegeven van het klimaat in Nederland op de langere termijn. In het tweede deel van het literatuuronderzoek wordt de invloed van de klimaatverandering op de melkveehouderij beschreven. Dit gebeurt aan de hand van verschillende deelonderwerpen. In het derde, en laatste, deel van de literatuurstudie wordt een overzicht gegeven van de opzet en uitkomst van vergelijkbaar onderzoek uit andere landen.

2.1 Klimaatverandering

De wereldgemiddelde temperatuur is de afgelopen 100 jaar tussen de 0,56 en 0,92 graad gestegen. De stijging is niet gelijk over de wereld verdeeld: grote landmassa's en de poolgebieden zijn sneller opgewarmd, de oceanen en tropen minder snel. De warmste 12 jaren sinds 1850 liggen in de afgelopen 13 jaar. De temperatuur stijgt sinds 1970 met ongeveer 0,2°C per 10 jaar. In de 20e eeuw is de zeespiegel wereldwijd gestegen met ongeveer 17 centimeter (PCCC, 2007).

2.1.1 Oorzaken en gevolgen

Er zijn verschillende oorzaken voor variaties van het klimaat, zoals verschuivingen van continenten en zeestromen, inslagen op aarde van kometen of meteorieten, verhoogde vulkanische activiteit, variaties in de aardbaan, veranderende zonneactiviteit, veranderend landgebruik en recent de door menselijke activiteiten toegenomen hoeveelheid kooldioxide en andere broeikasgassen in de atmosfeer (KNMI, 2007). Deze laatst genoemde oorzaak staat nog altijd ter discussie maar steeds meer recent onderzoek wijst uit dat de klimaatverandering niet geheel verklaart kan worden door natuurlijke factoren. Klimaatmodellen waarin menselijke invloeden niet zijn meegenomen kunnen de waargenomen stijging niet verklaren. Als de invloed van broeikasgassen en stofdeeltjes wel wordt meegenomen is de overeenstemming tussen de berekende temperatuur en de waargenomen temperatuur goed (PCCC, 2007). Ook uit onderzoek van het KNMI blijkt dat de waargenomen temperatuurtoename in de eerste helft van de 20e eeuw aan natuurlijke oorzaken kan worden toegeschreven: een afname van vulkaanactiviteit, nadat die aanvankelijk nogal sterk was, en een toename van zonneactiviteit. In de tweede helft van de 20e eeuw kunnen natuurlijke oorzaken de waargenomen snelle stijging niet verklaren: de zonneactiviteit nam nauwelijks verder toe, terwijl er sinds 1960 drie grote vulkaanuitbarstingen zijn geweest. Als we deze factoren aftrekken van de waarnemingen blijft een signaal over dat consistent is met de verwachte menselijke invloed (KNMI, 2007).

Door de toename van de concentratie van broeikasgassen wordt het broeikaseffect van de dampkring versterkt. Dit versterkte broeikaseffect leidt tot een warmer klimaat en meer neerslag (KNMI, 2007). CO₂ is het belangrijkste broeikasgas. Niet alle CO₂ die uitgestoten wordt blijft in de atmosfeer. Ongeveer de helft wordt opgenomen door de oceaan en de biosfeer. De extra CO₂, die wel

in de atmosfeer blijft, is herkenbaar afkomstig van fossiele brandstoffen. CO₂ draagt wereldwijd voor meer dan de helft bij aan het versterkt broeikaseffect. Om de invloed van de verschillende broeikasgassen te kunnen optellen, wordt gebruik gemaakt van de omrekening naar de zogeheten CO₂-equivalenten. Eén CO₂-equivalent staat gelijk aan het effect dat de uitstoot van 1 kg CO₂ heeft. In Nederland zijn vooral de industrie, de energiesector, het verkeer, de glastuinbouw en de huishoudens verantwoordelijk voor de CO₂-uitstoot. Methaan is het tweede belangrijke broeikasgas, dit heeft een CO₂-equivalent van 21 en draagt wereldwijd voor zo'n 20% bij aan het versterkt broeikaseffect. Een grote bron van methaan is de veeteelt. Andere grote bronnen van methaan zijn vuilstortplaatsen, rijstbouw en de verliezen bij de olie- en gaswinning. Lachgas (N₂O) of stikstofmonoxide is een gasvormige stikstofverbinding. Net als bij methaan is de uitstoot relatief klein. Er komt veel minder lachgas in de atmosfeer dan bijvoorbeeld CO₂. Maar de CO₂-equivalent van lachgas is 310, dit betekent dat het broeikaseffect 310 keer sterker is dan dat van koolstofdioxide. Verder dragen ook fluorverbindingen bij aan het broeikaseffect, een voorbeeld is zwavelhexafluoride dit gas heeft een CO₂-equivalent van 23.000. Het is het broeikasgas dat per kilo de grootste bijdrage levert aan het broeikaseffect (VROM, 2007).

Voorbeelden van de huidige impact van de temperatuurverandering op de natuurlijke en menselijke systemen zijn:

- Verstoringen van sneeuw, ijs en bevroren bodems, zoals bijvoorbeeld; toename van het aantal gletsjermereën, toenemende instabiliteit van de bodems in de permafrostgebieden, rotslawines in de berggebieden en veranderingen in bepaalde arctische en antarctische ecosystemen, met inbegrip van de bedreigingen voor de roofdieren aan de top van de voedselketen (bijvoorbeeld ijsberen).
- Verstoring van hydrologische systemen over de hele wereld zoals; een vroegere lente afvoerpiek in vele door smeltwater gevoede rivieren, opwarming van meren en rivieren in vele gebieden met gevolgen voor de thermische structuur ervan en de waterkwaliteit.
- Verstoring van biologische systemen, bijvoorbeeld; vroegtijdig lentegebeuren zoals migratie van vogels en het leggen van eieren. Ook schuift het verspreidingsgebied van bepaalde planten diersoorten op naar het noorden of naar hoger gelegen gebieden.
- Verstoring van mariene en zoetwater biologische systemen met inbegrip van; veranderingen in de verspreidingsgebieden en de hoeveelheid van algen, plankton en vissen in de oceanen op de hogere breedtegraden, toename van algen en zoöplankton op de hogere breedtegraden, alsook in de meren op grote hoogte en het verspreidingsgebied en vroegtijdige migraties van vissen in de rivieren.

Enkele voorbeelden van hoe de toekomstige impact van de klimaatverandering vooral zichtbaar zal worden zijn;

- De door droogte getroffen gebieden zullen zich verder uitbreiden, de toename van de frequentie en intensiteit van extreme neerslagen zal het overstromingsgevaar doen toenemen en de daling van het in de gletsjers en in het sneeuwdek opgeslagen watervolume zal de beschikbaarheid van water in de berggebieden doen slinken.

- Bij een wereldwijde opwarming van maximaal 3 °C zal de landbouwopbrengst in de gebieden op gemiddelde en hogere breedtegraden toenemen, afhankelijk van de teelt (een hogere temperatuur stijging zal leiden tot een opbrengstdaling); in de dorre en tropische gebieden zal de opbrengst, zelfs bij een matige opwarming, afnemen, waardoor de kans op hongersnood toeneemt.
- De kustgebieden zullen tegen het midden van deze eeuw te kampen krijgen met een groter erosie- en overstromingsgevaar. Die impact zal nog versterkt worden door de demografische druk die op de kustgebieden rust; miljoenen mensen zullen aan overstromingsgevaar worden blootgesteld indien de zeespiegel met meer dan 20 cm stijgt (in het bijzonder in de Aziatische of Afrikaanse mega-delta's).
- De koraalriffen zullen een grote teruggang kennen bij een wereldwijde opwarming van meer dan 2°C.

De klimaatverandering zal de gezondheid van miljoenen mensen in gevaar brengen, met name vanwege:

- de hogere incidentie van ondervoeding
- een hoger sterfte- en ziektecijfer door hittegolven, overstromingen, stormen en droogtes
- de verandering in de ruimtelijke verspreiding van overbrengers van besmettelijke ziekten (IPCC, 2007).

In 2006 publiceerde het KNMI klimaatscenario's voor de wereld en voor Nederland voor 2050 en 2100. Deze scenario's zijn aannemelijk omdat ze rekening houden met onzekerheden zoals toekomstige bevolkingsgroei en economische ontwikkelingen. De knmi'06 klimaatscenario's geven een beeld van de veranderingen in temperatuur, neerslag, wind en zeespiegel voor een klimatologische periode van 30 jaar. De scenario's voor 2100 zijn dus representatief voor het klimaat in de periode rond dat jaar, tussen 2086 en 2115 (KNMI, 2006).

Er is gebruik gemaakt van geavanceerde mondiale en regionale klimaatmodellen, gecombineerd met gegevens uit meetreeksen. De klimaatmodellen berekenen voor 2100, ten opzichte van 1990, een wereldwijde temperatuurstijging die varieert tussen 1°C en 6°C. De modellen voorzien een toename van de jaarneerslag op de gematigde breedten en een afname in de subtropen, maar de uitkomsten van de berekeningen verschillen, door het gebruik van vier scenario's, onderling behoorlijk. Ook berekenen ze dat het totale aantal stormen op de gematigde breedte van het Noordelijk Halfrond licht afneemt. Daarnaast zijn er aanwijzingen dat de zwaarste stormen in kracht toenemen, maar die aanwijzingen zijn erg onzeker. Oceanen reageren traag op opwarming van de lucht. De zeespiegelstijging als gevolg van opwarming en uitzetting van oceaanwater is daarom in de komende decennia vrijwel ongevoelig voor de snelheid waarmee de luchttemperatuur op aarde toeneemt. Na 2050 speelt de snelheid van de opwarming van de lucht een grotere rol (KNMI, 2006).

De Veehouderijsector is wereldwijd verantwoordelijk voor 18% van de totale broeikasgassenuitstoot uitgedrukt in CO₂ equivalenten. Dit aandeel is groter dan dat van de transportsector (FAO, 2006). In de volgende subparagraaf wordt gekeken naar de bijdrage van de Nederlandse melkveehouderij aan het broeikas effect.

2.1.2 Bijdrage van de Nederlandse melkveehouderij aan broeikasgasemissie

Hoewel de melkveehouderij het meest milieuvriendelijke imago heeft van alle landbouw takken, produceert zij veruit de meeste broeikasgassen. Het gaat om drie gassen: koolzuurgas (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). De agrarische sector is in Nederland goed voor 12% van de totale emissie van broeikasgassen en daarvan komt maar liefst tweederde, dus 8%, op rekening van de melkveehouderij. Daarvan levert methaan, dat vrijkomt uit de pens van de koeien en uit de mest, de belangrijkste bijdrage met 48%. Lachgas, dat vrijkomt uit de bodem door omzetting van mest en kunstmest, is goed voor 37%. CO₂ is goed voor slechts 3% door gebruik van elektriciteit en brandstof en indirect voor 12% door gebruik van energie bij de productie van kunstmest en krachtvoer (CLM, 2007).

2.1.3 Toekomstig klimaat in Nederland

De uitkomsten van de modelberekeningen van de toekomstige temperatuurstijging op aarde verschillen onderling aanzienlijk. Dit hangt samen met onzekerheid over de toekomstige bevolkingsgroei en de economische, technologische en sociale ontwikkelingen, en de daarmee samenhangende uitstoot van broeikasgassen en stofdeeltjes. Daarnaast begrijpen we de complexe processen in het klimaatsysteem nog maar ten dele. Voor kleinschalige regio's, zoals West Europa of Nederland, is de onzekerheid nog groter. Hierbij speelt de luchtstroming een belangrijke rol. Om met deze onzekerheden om te gaan, heeft het KNMI uit de brede waaier van toekomstberekeningen vier verschillende scenario's geselecteerd die voor het Nederlandse beleid het meest relevant zijn (KNMI, 2006).

In 2006 publiceerde het KNMI deze klimaatscenario's voor Nederland voor 2050 en 2100. Het gematigde klimaatscenario (G) gaat uit van een temperatuurstijging van 1°C in 2050 t.o.v. 1990. Het warme (W) scenario gaat uit van een temperatuurstijging van 2°C in 2050 t.o.v. 1990. Bij de analyse van het toekomstige klimaat is voor het eerst gebruik gemaakt van geavanceerde mondiale en regionale klimaatmodellen, gecombineerd met gegevens uit meetreeksen. Hierdoor is het mogelijk om ook rekening te houden met veranderingen in luchtstromingspatronen. Aangezien vooralsnog onduidelijk is of en hoe deze stromingspatronen worden beïnvloed door het versterkte broeikaseffect, heeft het KNMI gekozen voor twee sets van klimaatscenario's: een set waarbij de stromingspatronen onveranderd zijn ten opzichte van de huidige situatie en een set waarbij de stromingspatronen wel wijzigen. In tabel 2.1. staat de beschrijving van de vier klimaatscenario's. De set waarbij de stromingspatronen wel wijzigen worden aangegeven met een '+' (Nationaal Onderzoeksprogramma Klimaat voor Ruimte et.al., 2006).

Tabel 2.1 Beschrijving van de vier klimaatscenario's

Code	Naam	Toelichting
G	Gematigd	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 tov 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen West Europa
G+	Gematigd +	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 tov 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind
W	Warm	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 tov 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen West Europa
W+	Warm +	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 tov 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind

De resultaten voor de klimaatscenario's voor 2050 zijn weergegeven in tabel 2.2. Volgens de KNMI-scenario's zetten de trends die te zien zijn in tabel 2.2 door na 2050. Voor het jaar 2100 geven ze een toename aan van de gemiddelde zomertemperatuur tussen 1.7 en 5.6°C en een zeespiegelstijging tussen 35 en 85 cm ten opzichte van 1990 (Nationaal Onderzoeksprogramma Klimaat voor Ruimte et.al., 2006).

Tabel 2.2 Resultaten van de verschillende klimaatscenario's voor 2050

2050		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging		+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Verandering in luchtstromingspatronen in West Europa		Nee	ja	nee	Ja
Winter	Gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,1°C	+1,8°C	+2,3°C
	Koudste winterdag per jaar	+1,0°C	+1,5°C	+2,1°C	+2,9°C
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+7%	+7%	+14%
	10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+4%	+6%	+8%	+12%
	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	0%	+2%	-1%	+4%
Zomer	Gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
	Warmste zomerdag per jaar	+1,0°C	+1,9°C	+2,1°C	+3,8°C
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+6%	-1%
	10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+13%	+5%	+27%	+10%
	potentiële verdamping	+3%	+8%	+7%	+15%
Zeespiegel	Absolute stijging	15-25 cm	15-25 cm	20-35 cm	20-35 cm

In elk scenario komen een aantal kenmerken van de klimaatverandering voor Nederland en omgeving naar voren:

- de opwarming zet door; hierdoor komen zachte winters en warme zomers vaker voor;
- de winters worden gemiddeld natter en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe;
- de hevigheid van extreme regenbuien in de zomer neemt toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder;
- de berekende veranderingen in het windklimaat zijn klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid;

- de zeespiegel blijft stijgen (KNMI, 2006)

2.2 Invloed van de klimaatverandering op de melkveehouderij

In deze paragraaf worden de gevolgen van de klimaatverandering voor de melkveebedrijven in Nederland besproken. Om verschillende redenen heeft een verandering in het klimaat effect op de beschikbaarheid en prijs van diverse voedermiddelen. Een actueel voorbeeld is de stijgende graanprijs door het gebruik van graan als biobrandstof. Dit wordt door de overheid gestimuleerd omdat biobrandstoffen 'klimaatneutraal' zijn (Milieucentraal, 2007). De klimaatverandering zal ook invloed hebben op de productie van voedergewassen a) omdat de gewassen door de verhoogde CO₂ concentratie in de lucht de grondstoffen, water, straling en stikstof, efficiënter gaan gebruiken en b) omdat de opwarming van de aarde zorgt voor veranderde groeiomstandigheden voor voedergewassen (Olesen en Bindi, 2002). Niet alleen op het gebied van gewasproductie moet men rekening houden met de klimaatverandering, ook op dierniveau kunnen veranderingen optreden (Rötter en Geijn, 1999). Extreme weersomstandigheden hebben een effect op de diergezondheid, groei en reproductie. Een voorbeeld hiervan is hittestress in de zomer maar daartegenover staat ook een verminderde energiebehoefte in de winter (Olesen en Bindi, 2002). Tenslotte verandert ook de verspreiding van ziektes en plagen (Rötter en Geijn, 1999).

2.2.1 Beschikbaarheid en prijs van aangekochte voedermiddelen

De beschikbaarheid en prijs van voedermiddelen die melkveehouders aan moeten kopen zijn van vele factoren afhankelijk. Er zijn twee factoren die samenhangen met de klimaatverandering. Allereerst wordt de opbrengst per hectare beïnvloed door de veranderde weersomstandigheden. Daarnaast zijn er minder hectares grond beschikbaar voor de productie van voedergewassen door de opkomst van de productie van energiegewassen. Hieronder worden deze twee factoren en de gevolgen ervan verder toegelicht.

Effect van klimaatverandering op de gewasproductie per hectare

Er zijn verschillende gevolgen van de klimaatverandering die de gewasgroei beïnvloeden. De belangrijkste zijn; de stijgende temperatuur, meer neerslag, hogere stralingswaarden en een hogere CO₂ concentratie in de lucht. Ook het verlengde groeiseizoen speelt een rol bij de gewasproductie (Visser, 2005). Afhankelijk van de gewassoort reageert een plant op deze veranderde factoren. Er zijn twee belangrijke gewassoorten, C₃ en C₄ planten. Hieronder worden eerst de verschillende processen die plaatsvinden in een plant beschreven en vervolgens wordt het verschil tussen C₃ en C₄ soorten uitgelegd.

Planten nemen door middel van CO₂ assimilatie koolstofdioxide op uit de lucht. Door middel van fotosynthese wordt deze CO₂ onder invloed van zonlicht (straling) omgezet tot koolhydraten. Voor dit proces is ook water nodig. Het water nemen ze op uit de bodem met hun wortels. Tijdens de

fotosynthese ontstaan naast koolhydraten ook zuurstof. De koolstofdioxide en zuurstof worden via huidmondjes in het blad met de lucht uitgewisseld. En de koolhydraten worden als bouwstenen voor de plant gebruikt. Respiratie is de gaswisseling die ontstaat bij de verbranding van koolhydraten om energie vrij te maken voor de onderhoud en groei van de plant.

Transpiratie is de verdamping van water via de zogenaamde bladklieren of huidmondjes, die meestal aan de onderzijde van het blad liggen. Planten verdampen water om zo een continue opwaartse sapstroom te creëren, waardoor ze in staat zijn om de meegevoerde zouten uiteindelijk in het blad te krijgen. Evapotranspiratie is de som van evaporatie en van transpiratie door planten. Evaporatie staat voor de beweging van water naar de atmosfeer. Evaporatie gebeurt vanuit de bodem, bladerdak en oppervlaktewater. Transpiratie staat voor het ontsnappen van water (waterdamp) uit planten langs de huidmondjes in de bladeren. Evapotranspiratie is een belangrijk onderdeel van de waterkringloop.

C₄ soorten hebben een hoger assimilatie niveau en een hogere optimum temperatuur. In gematigde streken, zoals Nederland, is voor de C₄ soorten de temperatuur dermate suboptimaal dat daar de assimilatiesnelheid van C₃ en C₄ soorten ongeveer even groot is. Bij toenemende straling neemt de assimilatiesnelheid van C₄ planten toe tot 75 kg CO₂/ uur/ ha en die van C₃ planten tot 25 kg CO₂/ uur/ ha. De assimilatiesnelheid is groter bij zowel C₃ als C₄ planten bij hogere temperaturen totdat een optimale temperatuur bereikt is. Bij nog hogere temperaturen neemt de assimilatie weer af. Bij C₃ planten ligt deze optimale temperatuur rond de 20°C en bij C₄ rond de 30°C (Steeghs en Tielemans, 2000).

In onderzoek van Mera (2006) wordt onderzocht wat de invloed is van veranderingen in neerslag, temperatuur en straling op gewasogst bij C₃ en C₄ planten. Met behulp van een modelstudie worden de gevolgen van variatie in temperatuur, neerslag, straling en de interactie hiertussen voor gewasgroei van soja en maïs gesimuleerd. Als input in de basissituatie wordt uitgegaan van de waargenomen weersomstandigheden in Clayton, Nort Carolina, in 1998. Op deze locatie was de gemiddelde neerslag 1201.4 mm, de gemiddelde zonnestraling per dag 13,7 MJ per m²/seconde en de gemiddelde luchttemperatuur 23,1°C. Er is gekozen voor deze locatie en dit jaar omdat de onderzoekers bekend waren met dit gebied en er in dit jaar geen abnormale weersomstandigheden waren. De basisinput werd voor veranderingen in neerslag en straling met 25%, 50%, 75% en 150% veranderd en de temperatuur werd met ±1°C en ±2°C veranderd. Ook werden er acht extra simulaties uitgevoerd om de gezamenlijke effecten van verandering in straling, neerslag en temperatuur te bekijken. Hiervoor werden straling en neerslag elk met ±50% en temperatuur met ±2°C verandert.

Uit de resultaten blijkt dat straling een non-lineaire impact heeft op gewasgroei. De oogst van maïs en soja is het hoogste bij een stralingsniveau van 75% van de basissituatie. Dit betekent dat een kleine afname, 25%, van straling een positief effect heeft op de gewasproductie. Dit komt doordat de plant in de verschillende groeistadia anders reageert op straling. In de beginstadia zorgt een lagere stralingswaarde voor een hogere plantgroei. Verder is de toename van oogst een gevolg van twee primaire effecten waaronder de afgenomen stralingshoeveelheid en de afname van evapotranspiratie die resulteert in minder waterstress en minder onderhoudsrespiratie. Verder blijkt dat een forse toe- of

afname in straling een negatief effect heeft op de productie. Dit komt doordat bladfotosynthese niet meer toeneemt wanneer de stralingswaarde boven een zeker niveau uitstijgt.

Verandering in neerslag lijkt een lineaire impact te hebben op de oogst van maïs en sojabonen, bij toenemende neerslag neemt de oogst toe. In dit onderzoek werd getest voor een neerslagniveau tot 150% en ook al zijn hogere neerslagwaarden niet getest het is aannemelijk dat de gewasoogst bij zeer hoge neerslagniveaus af zal nemen als gevolg van vernatting. Uit dit onderzoek blijkt dat hogere temperaturen de fotosynthese, respiratie en transpiratie in de plant stimuleren. Over het algemeen lijkt temperatuur een kleinere invloed te hebben in vergelijking met veranderingen in straling en neerslag. Toch was de sojabonenoogst afhankelijk van temperatuur, soja heeft een voorkeur voor enigszins koelere temperaturen. Voor maïs resulteerde de modelsimulatie bij zowel een toegenomen als afgenomen temperatuur in een toegenomen productie. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt doordat het gebruikte model alleen gebruik maakt van temperatuur en daglengte om de mate van ontwikkeling te bepalen, een gebrek aan vocht en voedingsstoffen hebben geen effect op gewasgroei.

In tabel 2.3 worden de variabelen weergegeven die gebruikt zijn om de interactie tussen straling, neerslag en temperatuur te meten. In Figuur 2.1 worden de resultaten van de verschillende variabelen weergegeven. Als de interactie tussen straling, neerslag en temperatuur bekeken wordt blijkt dat de combinatie van verhoogde straling en verhoogde neerslag over het algemeen resulteert in de hoogste sojabonen oogst, zie ook figuur 2.1. Neerslag is een dominante factor voor maïsproductie, in combinatie met hogere stralingswaarden kan deze zorgen voor een verder verhoogde oogst. De straling-neerslag interactie schijnt voor maïs niet lineair te zijn omdat in de combinatie van 150% neerslag-150% straling de oogst het hoogste is maar in de combinatie van 50% straling-50% neerslag krijgt men niet de laagste oogst. De laagste oogst komt voor in de combinatie 50% neerslag-150% straling. De relatie met temperatuur is ingewikkelder en kan de oogst verlagen of verhogen afhankelijk van de neerslag en stralingswaarden.

Tabel 2.3 Gebruikte combinaties van variabelen

Afkorting	Combinatie van variabelen
mRmPmT	50% straling, 50% neerslag, -2°C temperatuur
mRpPmT	50% straling, 150% neerslag, -2°C temperatuur
pRmPmT	150% straling, 50% neerslag, -2°C temperatuur
pRpPmT	150% straling, 150% neerslag, -2°C temperatuur
mRmPpT	50% straling, 50% neerslag, +2°C temperatuur
mRpPpT	50% straling, 150% neerslag, +2°C temperatuur
pRmPpT	150% straling, 50% neerslag, +2°C temperatuur
pRpPmT	150% straling, 150% neerslag, -2°C temperatuur
pRpPpT	150% straling, 150% neerslag, +2°C temperatuur

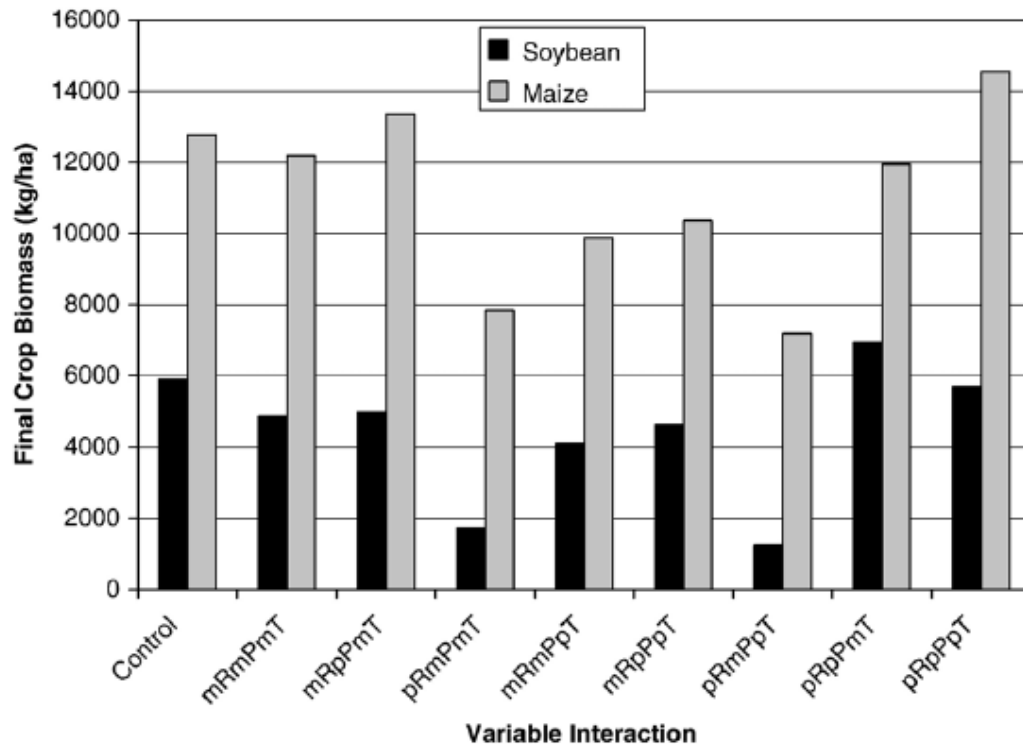


Fig. 2.1 Gesimuleerde oogst (kg/ha) voor sojabonen en maïs voor combinaties van plus (p) en min (m) veranderingen in de controle waarden van Straling (R), neerslag (P) en temperatuur (T) (Mera et.al., 2006).

Zoals uit figuur 2.1 kan worden afgelezen is neerslag een bepalende factor voor de maïsproductie, hogere stralingswaarden kunnen daarbij zorgen voor nog meer opbrengst. Soja geeft de voorkeur aan een positieve neerslag- en stralingswaarde verandering t.o.v. de basis situatie en een afname in temperatuur (Mera et.al, 2006). Als gekeken wordt naar de resultaten van Mera (2006) lijkt de klimaatverandering een vrij positieve invloed te hebben op de groei van maïs. Maïs bereikt de hoogste productie bij een toename van 50% van neerslag en straling en 2°C temperatuurstijging. Hieruit kan geconcludeerd worden dat maïs vrij goed bestand is tegen klimaatverandering en de opbrengst in de toekomst zal toenemen. Dit is ook te verklaren omdat maïs een C₄ plant is en daardoor hogere assimilatiewaarden kan bereiken en een hogere optimale temperatuur heeft. Momenteel zijn de klimaatomstandigheden in Nederland nog niet optimaal voor de productie van maïs. De klimaatverandering lijkt geen gunstig effect te hebben op de groei van soja. Slechts één combinatie van variabelen resulteerde in een hogere oogst dan in de basissituatie en hierbij is er sprake van een afname van temperatuur. Dit is te verklaren doordat soja een C₃ plant is en deze een lage optimale temperatuur hebben. Aangezien soja veel in zuidelijk gelegen, warme, gebieden geteeld wordt en deze gebieden in de toekomst nog verder opwarmen, is het aannemelijk dat de opbrengt van soja afneemt. In dit onderzoek is echter de invloed van een verhoogde CO₂ concentratie in de lucht niet meegenomen. Dit wordt bekeken in de studie die hieronder beschreven wordt.

Uit onderzoek van Torbert, et.al. (2004) blijkt dat een verdubbeld CO₂ gehalte in de atmosfeer de totale biomassaproductie van korrelgerst met gemiddeld 30% verhoogd en de productie van soja met 40%. Deze stijging was terug te zien in de hoeveelheid plantresidu na het oogsten. Bij sojabonen

zorgde de hogere CO₂ concentratie voor een verhoogd stikstofaandeel (29%) in de plant. Uit dit onderzoek blijkt ook dat planten die groeien bij een verhoogde CO₂ concentratie beter gebruik maken van de aanwezige stikstofbronnen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat toekomstige agrarische systemen beter gebruik maken van beperkte bronnen. De resultaten van deze studie geven aan dat terwijl de gewasproductie positief beïnvloed wordt door de verhoogde CO₂ concentratie, substantiële veranderingen in stikstofbemesting niet nodig zijn. Al moeten de stikstof bemestingsaanbevelingen, die gebaseerd zijn op de stikstofconcentraties in de gewassen of oogstdoelen, mogelijk worden bijgesteld om de veranderingen in de reactie van gewassen op verhoogde CO₂ concentratie te compenseren (Torbert, et.al., 2004).

Het onderzoek van Southworth et.al. (2002) wijst uit dat gebieden in het noorden en midden van de Verenigde Staten (VS) grote toenames in sojaogst zullen ondervinden en dat meer zuidelijk gelegen gebieden een gematigde afname van oogst zullen ondervinden. Bemesting uit CO₂ in de lucht veroorzaakt een oogsttoename van 20 tot 30% onder de gematigde klimaat scenario's. Tenslotte zullen ook de planttijdstoppen verschuiven. In het noorden en midden moet, om maximale oogst te realiseren, eerder geplant worden en in het zuiden juist later. De hoogste oogst is afkomstig van rassen die vroeg volwassen zijn (Southworth, et.al., 2002).

Uit de voorgaande paragraaf kan geconcludeerd worden dat, als alle factoren van klimaatverandering worden meegenomen, de productie van soja alleen in zeer warme, zuidelijk gelegen gebieden zal afnemen. In deze gebieden kan de productie afname als gevolg van de gestegen temperaturen niet gecompenseerd of overstege worden door de verhoogde CO₂ concentratie in de lucht. In de gematigde klimaatgebieden zal de oogst hoogstwaarschijnlijk toenemen door een verlenging van het groeiseizoen en een opbrengt stijging door bemesting uit CO₂ in de lucht.

Effect van stimulering bio-gewassen op areaal voedergewassen

De economie van de geïndustrialiseerde landen is gebaseerd op een grote inzet van energie. Aardolie, aardgas en steenkool zijn de primaire energiedragers. Winning, transport en verbruik van deze fossiele energiedragers, als ook de productie van elektriciteit veroorzaken een aanzienlijke milieudruk: bij winning, transport en distributie van aardgas en aardolie ontstaat methaanemissie, bij de productie van elektriciteit ontstaan luchtmissies van onder andere kooldioxide en stikstofoxiden en het verbruik van aardgas, aardolie en steenkool veroorzaakt emissies van CO₂ naar de lucht. Al deze emissie draagt bij aan het versterkte broeikaseffect en dus aan de klimaatverandering. Om dit effect te verminderen wordt het gebruik van duurzame energie steeds meer gestimuleerd. Deze energie is afkomstig van duurzame energiebronnen. Onder duurzame energiebronnen worden hernieuwbare energiebronnen verstaan. Dit wil zeggen bruikbare energie uit stromingsbronnen, zon, biomassa of omgeving (Natuurcompendium, 2007).

Voor de landbouw is vooral de productie van biomassa van belang. Bio-energie kan geproduceerd worden uit allerlei voedergewassen. Veel van hen zijn agrarische producten die oorspronkelijk gebruikt worden in de voedselketen. Ethanol kan gemaakt worden van zetmeelrijke en suikergewassen, terwijl het meest gebruikte gewas voor biodieselproductie plantaardige olie is, die onttrokken is aan oliezaadgewassen. Het is logisch dat een toename in productie van deze

biobrandstoffen de oorspronkelijke functie van landbouwgronden verandert. Echter, ook oneetbare organische materialen zoals cellulosematerialen van gras, stro en hout, kunnen worden gebruikt om bio-energie te produceren, al zijn deze processen duurder dan die gebaseerd op voedergewassen. Een voordeel is dat een toename in productie van bio-energie afkomstig van deze laatste materialen geen directe invloed zal hebben op de agrarische markt. Ook kan bio-energie geproduceerd worden van afvalmaterialen, al is het aanbod van geschikt afval in veel gebieden te klein (Lampe, 2006).

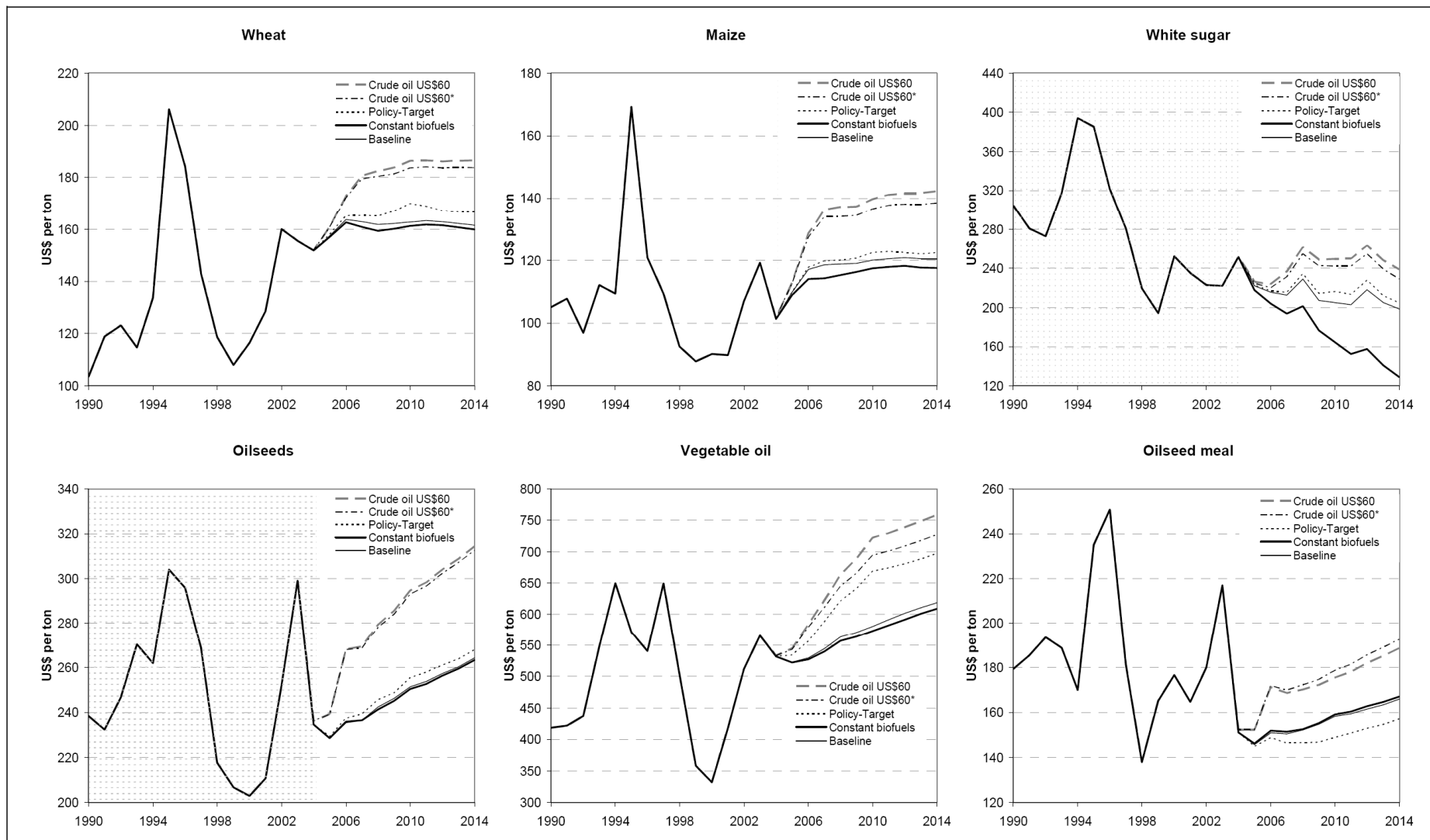
Mede geïnspireerd op de sterke bewegingen op de oliemarkt in 2005 heeft het Voedsel en Landbouw Directoraat van de OESO in korte tijd een overzichtstudie gemaakt van de ontwikkelingen op het gebied van biobrandstof in een aantal belangrijke productiegebieden in de wereld. De EU, Canada, VS en Brazilië worden in de studie betrokken. Onderscheiden wordt biodiesel, geproduceerd uit plantaardige olie, hoofdzakelijk soja, zonnebloemolie en raapzaad en ethanol dat uit suiker wordt geproduceerd en gemengd kan worden met benzine. De productie van bio-ethanol voor brandstofdoeleinden kent reeds een langere geschiedenis. Vooral in Brazilië werd al in de zeventiger jaren op aanzienlijke schaal bio-ethanol geproduceerd. De ontwikkeling van de productie had in Brazilië een duidelijke relatie met de ontwikkeling van de minerale olieprijs. In het begin van de negentiger jaren van de vorige eeuw kwam productie in andere gebieden (met name de VS) op gang. Productie van biodiesel kent een kortere geschiedenis en is nog vooral geconcentreerd in Europa en wordt op aanzienlijk kleinere schaal geproduceerd (PV OESO, 2007).

OESO ontwikkelde een economisch model gebaseerd op het eigen AGLINK model, aangevuld met het FAO model COSIMO en het World Sugar Model. Vanuit de baseline, aangegeven in de OESO/FAO Agricultural Outlook 2004-2014, wordt het effect van de opkomende biobrandstoffen productie berekend op de prijzen van grondstoffen voor bio-ethanol en voor biodiesel. Twee scenario's worden daarbij aangehouden; het bestaande beleid ten aanzien van biobrandstof is uitgangspunt en de prijs van minerale brandstof daalt van \$46 tot \$34 per vat aan het einde van de projectie, alsmede een tweede scenario uitgaande van een constante prijs van minerale brandstof van \$60 per vat en geen verder overheidsbeleid ter stimulering van het gebruik van biobrandstof. In beide scenario's zal er een aanzienlijke vraag optreden naar grondstoffen voor biobrandstoffen. In Europa komt een extra vraag naar tarwe en voedergranen van 19 miljoen ton, 9% van de totale graanproductie; de vraag naar suiker stijgt met 19 miljoen ton, 17% van de totale productie. De vraag naar plantaardige olie in Europa stijgt met bijna 50%. De wereldmarktprijzen zullen aanzienlijk stijgen. De projectie voor suiker is +60%; voor granen +4% en voor plantaardige olie +15%. In het hoge olieprijs scenario wordt het effect van de stijging van de energiekosten voor de agrarische productie meegenomen. Als de brandstofprijzen hoog blijven, stijgen ook de agrarische productiekosten. Dit leidt tot een lager productieniveau, waardoor de prijzen van agrarische gewassen stijgen. Op hetzelfde moment zullen hogere olieprijsen de motivatie verhogen om meer biobrandstoffen te produceren, dit creëert een toenemende vraag naar voedergewassen. Dit alles zorgt weer voor een prijsstijging van agrarische goederen van 10-17%. Een aparte korte beschouwing wordt gewijd aan het beslag op landbouwgrond voor de productie van biobrandstoffen. In de OESO landen die in de beschouwing betrokken zijn, zal het vervangen van 10% van de minerale brandstof door biobrandstof voor transportdoeleinden betekenen een beslag op het landbouwareaal van 30-70%. Voor Brazilië is

dit slechts 3% van het areaal. Geen rekening wordt daarbij gehouden met verschuivingen in de internationale handelspatronen (PV OESO, 2007).

Prijsprojecties voor gewassen en oliezaadproducten zijn weergegeven in figuur 2.2. Deze projecties suggereren dat biobrandstofproductie de potentie heeft om wereldprijzen voor plantaardige producten te doen stijgen tot hoogtes die ongekend zijn gedurende de afgelopen 20 jaar. De scenario's waartussen in figuur 2.2 onderscheid gemaakt wordt zijn (Lampe, 2006):

- 1) Baseline, scenario gebruikt in de OESO/FAO Agricultural Outlook 2004-2014.
- 2) Constant biofuels, het constante bio-energie scenario, dit gaat uit van een marktontwikkeling zonder toenemende bio-energie productie. Als resultaat van dit scenario dalen de ruwe graan en tarwe prijzen met 2,5% en 1% ten opzichte van de uitgangssituatie in 2004. Terwijl de daling in plantaardige olie prijzen 1,5% zal zijn.
- 3) Policy-Target, het politieke doel scenario, dit gaat ervan uit dat de groei van bio-energie productie verloopt volgens de nationaal gestelde doelen.
- 4) Crude oil US\$ 60, het 'hoge olieprijs scenario', in het basisscenario wordt uitgegaan van dalende olieprijs met een olieprijs van USD 46 per vat in 2005 en USD 34 per vat in 2014. In dit scenario wordt uitgegaan van een constante ruwe olie prijs van USD 60 per vat. In dit geval zullen de oliekosten 30% hoger liggen in 2005 en 76% hoger in 2014 dan in de veronderstelde basissituatie. Biobrandstof productie is 6-8% lager dan in het eerste scenario en de prijzen van grondstoffen komen op een nog hoger niveau.
- 5) Crude oil US\$ 60*, geeft een scenario weer dat uitgaat van een hoge ruwe olie prijs maar onveranderde brandstofprijzen en daardoor onveranderde biobrandstofprijzen, evenredig aan het politieke doel scenario.



Figuur 2.2 Wereldmarkt prijzen voor gewassen uitgaande van de alternatieve scenario's (Bron:Oeso)

2.2.2 Teelt van gras en voedergewassen

De teelt van gras en voedergewassen is een zeer weersafhankelijke activiteit op een melkveebedrijf. Er zijn verschillende gevolgen van de klimaatverandering die de gewasgroei beïnvloeden. De belangrijkste zijn; de stijgende temperatuur, meer neerslag, hogere stralingswaarden en een hogere CO₂ concentratie in de lucht.

Door de stijgende temperaturen is het aannemelijk dat de klimaatverandering zal leiden tot een significante toename in grasproductie in Noord- en Midden-Europa (Lemon, 1983, geciteerd in Jones, et.al., 1995). Maïsproductie zal bij temperaturen boven de 30°C een negatief effect ervaren. Dit negatieve effect wordt vooral veroorzaakt door het effect van deze hoge temperaturen op de ontwikkeling van de maïs. De hoge temperaturen verkorten de groeicyclus van het gewas. De afrijpingsperiode van de korrel wordt korter en veroorzaakt een afname van de oogst. Zelfs al wordt de massa van stam of bladeren groter, wordt de oogst nog altijd gereduceerd als gevolg van de verminderde kolfopbrengst en het toegenomen tekort aan water en voedingsstoffen tijdens de afrijpingsperiode (Dhakhwa, 1997).

Naast temperatuur heeft ook de stijgende CO₂ concentratie in de atmosfeer invloed op de grasgroei. De pre industriële CO₂ concentratie was 280 µ mol/mol, deze heeft nu een concentratie bereikt van 335 µ mol/mol. Een stijgend CO₂ gehalte beïnvloedt direct de fotosynthese, plantgroei en productiviteit. De reactie van plantgroei op een verhoogd CO₂ gehalte varieert sterk (Lemon, 1983, geciteerd in Jones, et.al., 1995). Dit is deels resultaat van de invloed van andere groeiomstandigheden maar ook zijn er grote verschillen tussen soorten in hun mogelijkheid om te reageren op een toenemend CO₂ gehalte. Sommige soorten laten een korte termijn stijging zien in fotosynthese bij een toegenomen CO₂ gehalte, maar dit resulteert niet in een hogere oogst omdat er een tekort is aan zink om de extra assimilatie mogelijk te maken (Tissue en Oechel, 1987, geciteerd in Jones, et.al., 1995).

In de studie van Dhakhwa (1997) in North Carolina worden zowel de indirecte als directe gevolgen van een stijgende CO₂ concentratie in de lucht op de groei van maïs bekeken. De indirecte effecten zijn veranderingen in neerslag, temperatuur en straling als gevolg van de stijgende CO₂ concentratie. Het directe effect is de CO₂ bemesting uit de lucht. Er werd een positief direct effect gevonden die een productiestijging van gemiddeld 19% tot gevolg had. Maar wanneer de directe en indirecte gevolgen gecombineerd werden had dit een productiedaling van 8% tot gevolg (Dhakhwa, 1997).

Veranderingen in het klimaat zullen conflicterende effecten hebben op de grasproductie in Schotland. De studie van Cooper en McGechan (1996) gaat uit van het meest extreme klimaatscenario (toename van 2 °C gedurende het hele jaar en een toename van neerslag van januari tot december van 1.5, 1.3, 1.0, 0.7, 0.8, 0.4, 0.1, 0.0, -0.2, 1.1, 1.0, 1.1 mm) dat voorspeld is door het Scottish Climate Change Project. Het grootste effect op grasproductie is een grote toename van productie deels door hogere temperaturen en stralingsniveaus maar vooral door meer zomerneerslag wat leidt tot minder groeiremming door watertekort. Daarnaast hebben de verhoogde neerslagkans en de hogere stralingswaarden invloed op de droogperiode van het hooi en kuilgras. De verwachte

hogere stralingswaarden lijken het drogingproces te bevorderen maar dit zal worden teniet gedaan door meer neerslag en de daarmee gepaarde vernatting (Cooper, et.al.,1995).

In het onderzoek van Schapendonk (1998) werd een modelmatige evaluatie gemaakt van de gevolgen van twee klimaatscenario's voor de productie van de belangrijkste gewassen in Nederland, zowel in fysieke als economische termen, ten opzichte van de huidige situatie. In dit onderzoek werd verandering in zonnestraling niet meegenomen. Er werd uit gegaan van een onveranderde hoeveelheid neerslag, wel werd er rekening gehouden met een verandering in de geografische verdeling van de neerslag. Het onderzoek gebruikte twee scenario's met betrekking tot temperatuurstijging en CO₂ gehalte in de lucht. In tabel 2.4 worden de twee scenario's beschreven.

Tabel 2.4 Beschrijving van de door Schapendonk gebruikte scenario's

Scenario	Jaar	CO ₂ concentratie (vpm)	Neerslag (mm/ jaar)	Gemiddelde Temperatuur (°C)
Referentie	1990	354	794	9,3
Laag	2020	425	794	10,8
Hoog	2020	438	794	10,9
Laag	2050	512	794	12,3
hoog	2050	566	794	12,8

Er werd gekozen voor de belangrijkste Nederlandse landbouwgewassen: aardappel, gras, snijmaïs, suikerbiet en wintertarwe. Uit de resultaten bleek dat de relatieve opbrengstverandering varieert van -16% voor maïs en +49% voor grasland. In tabel 2.5 worden de resultaten voor grasland en maïs weergegeven.

Tabel 2.5 Relatieve verandering in fysieke productie per ha in Nederland in procenten in 2020 en 2050

Gewasgroep	Variant 2020		Variant 2050	
	laag	hoog	laag	hoog
Snijmaïs	93,1	92,2	84,0	83,8
Grasland	118,2	120,6	139,6	149,1

De effecten, voor de gebruikte klimaatscenario's, zijn tegengesteld voor de voeder gewassen gras en maïs. Maïs vertoont geen fotorespiratie aangezien het een C₄ gewas is. Fotorespiratie is bij C₃ planten competitief met fotosynthese en wordt door CO₂ onderdrukt. In C₄ planten is de fotosynthese daardoor onafhankelijk van de CO₂ concentratie, tot zeer lage concentraties, waardoor er geen positieve CO₂ effecten op de productie te verwachten zijn. Het water besparend effect blijft echter wel gehandhaafd en kan zelfs groter worden dan bij C₃ gewassen. Daardoor kan maïs toch harder groeien bij een beperkt wateraanbod. Deze groeiversnelling leidt tot een toename van het bladoppervlak met als consequentie meer verdamping en een uitputting van bodemwater. Ook bleek de gesimuleerde daling te wijten aan verschuiving van periode met watertekort van de latere productiefase naar de meer gevoelige bloeifase (Schapendonk, et.al, 1998).

Door de zachtere winters en warmere zomers wordt het groeiseizoen in Nederland langer. Het groeiseizoen is sinds 1901 met een maand toegenomen (Visser, 2005). Dit heeft zoals eerder

genoemd positieve gevolgen voor de grasgroei omdat deze eerder op gang komt en langer doorgaat. Of als gevolg hiervan het weideseizoen ook langer wordt is onderzocht door Rounsevell (1996). Hij concludeerde dat het risico op vertrapping kleiner wordt als de temperatuur stijgt en de hoeveelheid neerslag afneemt.

Uit voorgaande paragraaf kan geconcludeerd worden dat het moeilijk is om vast te stellen of en hoeveel de productie van voedergewassen in Nederland zal stijgen als gevolg van de klimaatverandering. Aangezien Nederland een gematigd klimaat heeft is een afname van productie door extreem hoge temperaturen onwaarschijnlijk. Als de Nederlandse boeren gebruik maken van het verlengde groeiseizoen zal dit de opbrengst per hectare grasland verhogen. Voor maïs geldt dit niet omdat de plant binnen een bepaalde periode groeit en afrijpt. Ook krijgt maïs eerder te maken met een watertekort door toegenomen transpiratie. Het weideseizoen zal als gevolg van het verlengde groeiseizoen en de hogere temperaturen langer worden.

Tenslotte is er nog een indirect effect van klimaatverandering, de opkomst van bepaalde plantziekten in Nederland. Doordat het klimaat in Nederland steeds warmer en vochtiger wordt is het geschikt als leefgebied voor bepaalde ziekteverwekkers die voorheen niet in Nederland voorkwamen. Een goed voorbeeld hier van is bladschimmel. Deze schimmel kan door het warmer en vochtiger wordende klimaat in Nederland (over)leven. De schimmel zet de afrijping van de maïsplant helemaal stil, waardoor deze zo snel mogelijk geoogst moet worden. De bladschimmel zorgt momenteel voor een prijsstijging van €5 per ton verse maïs (Horst ter, 2007). Een andere naam voor bladschimmel is Northern corn leaf blight (NLB). NLB wordt veroorzaakt door de schimmel die de naam *Exserohilum turcicum* (*Helminthosporium turcicum*) draagt. De schimmel overwintert in de plantenresten van het voorgaande maïsgewas. Wanneer de weersomstandigheden gunstig zijn worden door de schimmel sporen gevormd. Deze sporen kunnen door de wind over grote afstand worden meegenomen en kunnen elders nieuwe planten infecteren. In dit geval is er sprake van een eerste infectie. Een tweede infectie treedt op van plant op plant en van het ene veld naar een naburig gelegen veld. De sporen hebben een hoge luchtvochtigheid of aanwezigheid van water over een periode van 5 uur nodig om te kunnen kiemen en de plant te kunnen infecteren. Grijsgroene, elliptische bladplekken van 3-15 cm lang worden zichtbaar 10-14 dagen nadat de infectie plaats heeft gevonden. Deze bladplekken worden groter en starten op hun beurt met de aanmaak van sporen die een volgende infectie mogelijk maakt. Wanneer de bladplekken naar elkaar toe groeien, ziet het gewas er bruin en verbrand uit. De infecties kunnen in elk groeistadium van de maïs optreden, maar het gewas lijkt het meest gevoelig in de periode na de bloei. Hoe eerder de eerste infectie plaatsvindt en bladplekken zichtbaar zijn, hoe erger de ziekte zich manifesteert en hoe groter de uiteindelijke schade is. De schade is het grootst bij gematigde temperaturen (18-27°C) en een hoge luchtvochtigheid. Het opbrengstverlies is het gevolg van verminderde fotosynthese door een verminderd actief bladoppervlak. Door deze verminderde fotosynthese activiteit worden minder suikers gevormd en getransponeerd naar de kolf. Deze schimmel kan desastreuze gevolgen hebben voor het gewas. Er zijn vanuit het buitenland opbrengstreducties tot 50% bekend (Maisadvies.nl, 2007).

2.2.3 Diergezondheid, groei en reproductie

Nederlandse melkkoeien worden het grootste gedeelte van het jaar op stal gehouden. Het is daarom van groot belang dat de stal comfortabel is en dat het stalklimaat optimaal is voor de producerende koeien. De stijgende temperatuur in Nederland heeft gevolgen voor de leefomstandigheden van de melkkoeien aangezien de optimale comfortzone van melkgevende koeien tussen de 16 en 20 °C ligt. Voor melkkoeien die minder melk produceren ligt de bovenste kritische temperatuurgrens waarschijnlijk hoger, wellicht tussen 24 en 27°C (Ouweltjes, et.al.,2003).

Voor hoogproductieve melkkoeien wordt deze comfortzone zeker in de zomer ver overschreden wat kan leiden tot hittestress. Dit ontstaat doordat melkgevende melkkoeien veel metabolische warmte produceren en daarbij ontvangen ze extra warmte van zonne-energie. Warmteproductie in combinatie met warmte ontvangst door straling plus beperkte afkoelingsmogelijkheden door natuurlijke omstandigheden, leiden tot een warmteophoping in de koe die resulteert in een stijging van de lichaamstemperatuur. Omdat koeien zelf proberen de metabolische warmteproductie te beperken daalt de voedselopname van de melkkoeien wat leidt tot een productiedaling en een gereduceerde efficiëntie van melkproductie (Knaap van der, 2007).

In de periode na de temperatuurpiek kunnen vervolgens gezondheidsproblemen ontstaan bij de melkkoeien. Omdat er tijdens de hitteperiode sprake is van een duidelijk verminderde voeropname, neemt de bloedvoorziening van het maagdarmkanaal af. Hierdoor wordt de opname van nutriënten uit het maagdarmkanaal verminderd. Door het extra zweten en extra speekselproductie verliest de koe bicarbonaat. Omdat bicarbonaat de bufferwerking van de pens stimuleert wordt door een verminderde hoeveelheid bicarbonaat de buffercapaciteit van de pens verminderd. Echter doordat de koeien minder vreten wordt er ook minder zuur afgegeven in de pens. Problemen ontstaan vooral na de warmteperiode wanneer de koe wel weer meer gaat vreten maar de concentratie bicarbonaat in het speeksel zo laag is dat de buffercapaciteit van de pens nog niet is hersteld. Door de afbraak van ruw- en krachtvoer in de maag daalt de pH van de pens, het gevolg is pensverzuring (Knaap van der, 2007).

De opwarming van de aarde kan omstandigheden creëren die niet alleen de productie van de melkkoeien verlagen maar ook leiden tot een verhoogde sterfte onder koeien bij het ontbreken van beschermende faciliteiten (West, 2003). Bij een temperatuur boven de 21°C moet de melkveehouder daarom actie ondernemen. Een van de belangrijkste maatregelen die genomen moet worden om de stressvolle effecten van een warm klimaat te verminderen is om de koe te beschermen tegen direct en indirecte zonnestraling. Het is aangetoond dat de warmtebelasting met 30-50% kan worden verminderd met een goed ontworpen schaduwplek. Koeien in een schaduwrijke omgeving hebben een lagere lichaamstemperatuur, verlaagde ademhaling en 10% meer melkproductie dan controlegroep (West, 2003). Een andere maatregel die ook zeer belangrijk is, is zorgen voor voldoende en schoon drinkwater (Knaap van der, 2007). Als de omgevingstemperatuur zich 1°C boven de optimale omgevingstemperatuur bevindt stijgt de wateropname van melkkoeien met 1,2 kg. De opname van droge stof daalt meestal bij warm weer en om een tekort aan voedingsstoffen te voorkomen moet de concentratie van voedingsstoffen in het rantsoen verhoogd worden (West, 2003). Andere minder

voorkomende oplossingen voor hittestress zijn ventilatoren en sprinkler installaties (Knaap van der, 2007). Sprinklerinstallatie in de stal kunnen echter alleen in combinatie met ventilatoren omdat anders de luchtvochtigheid in de stal te groot wordt.

In het onderzoek van Frazzi et.al. (2003) werden koeien in twee huisvestingssystemen vergeleken. De controlegroep (C) zat in stallen zonder extra koeling en de tweede groep (FM) zat in een stal waarin ventilatoren en een sprinkler installatie waren aangebracht. In de periode van mei t/m september werd dagelijks de minimale en maximale temperatuur in beide stalsystemen gemeten. Ook werd wekelijks de productie van de koeien bijgehouden. De gemiddelde maximale dagelijkse temperatuur in de stal van de FM groep was 31.5°C en 32.9°C in de controlegroep; het gemiddelde van de dagelijkse temperaturen was 25.3°C in bij de FM groep en 26.1°C in de controlegroep. Voor de dieren in de proef, met een melkproductie tussen de 32-34 l/dag, was een daling in melkproductie zichtbaar als de minimale dagelijkse temperatuur steeg boven de 18°C. De afname in melkproductie neemt toe per 1°C toename in minimale dagelijkse temperatuur. Een overzicht hiervan staat in tabel 2.6.

Tabel 2.6 Afname in melkproductie in kilo/dag en als percentage van dagelijkse productie

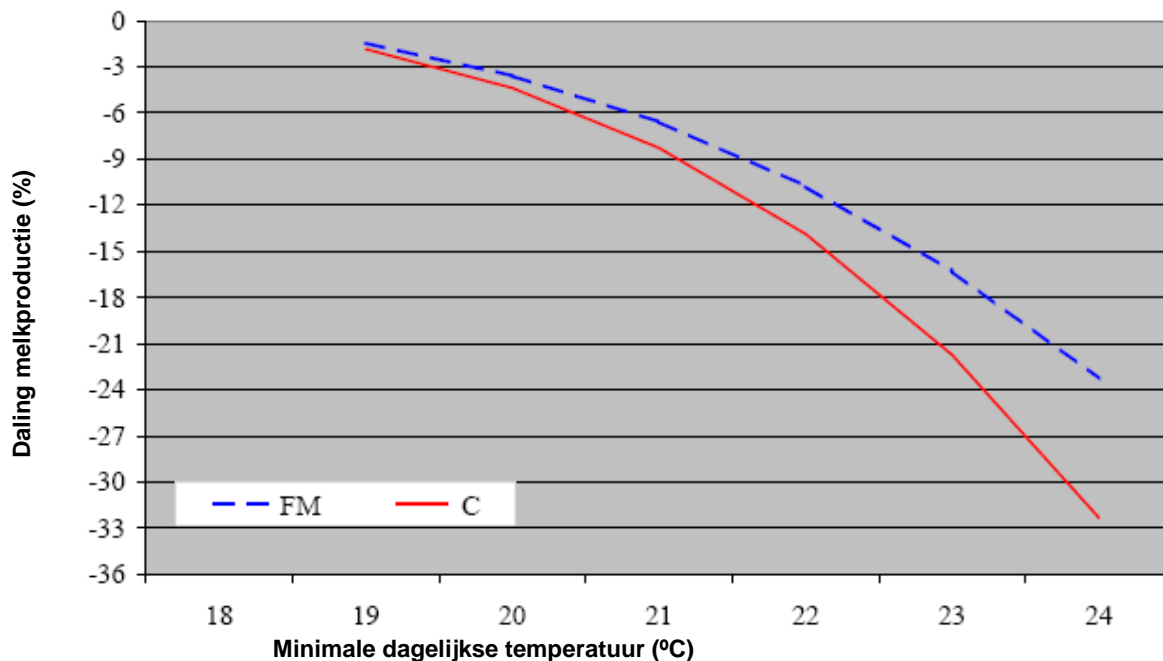
Minimale dagelijkse temperatuur	Afname in melkproductie in kg/dag per toename van 1°C	Afname in procenten van dagelijkse productie per toename van 1°C
18	1	3%
21	3	10%
23	7	22%

In figuur 2.3 is te zien dat de afname in melkproductie bij de groep in de gekoelde stal (FM) lager is. Natuurlijk kan deze afname in melkproductie, als gevolg van hittestress, veranderen als gevolg van vele factoren, vooral melkproductieniveau en lactatiestadium (Frazzi et.al., 2003).

Ook bij de reproductie speelt hittestress een grote rol. In een onderzoek van West (2003) in het zuidoosten van de VS werden droogstaande koeien die in de schaduw stonden vergeleken met koeien in controlegroepen zonder schaduw. Hoewel schaduw de hitte accumulatie door straling vermindert is er geen effect op luchttemperatuur of relatieve vochtigheid, additionele koeling is nodig voor melkkoeien in een warm en vochtig klimaat. De schaduwgroep kregen kalveren die 3,1 kg zwaarder waren en ze gaven 13,6% meer melk dan de controlegroep. Melkkoeien die gekoeld werden met sprinkler installaties en ventilatoren gedurende de droogstand behielden lagere lichaamstemperaturen en kregen kalveren die 2,6 kilo zwaarder waren dan de koeien die alleen schaduw hadden. Ook gaven deze koeien gemiddeld 3,5 kilo melk meer per dag gedurende de eerste 150 dagen van de lactatie. Hittestress verandert de bloedsomloop en daarmee ook de ontwikkeling van het kalf. Het verstrekken van schaduw en koeling gedurende de laatste periode van de dracht verbeterd de lactatie en resulteert in sterkere en krachtigere kalveren bij geboorte (West, 2003).

Omdat de opwarming van de aarde doorzet is het belangrijk om vooruit te kijken en proberen de Nederlandse melkkoeien zo klimaatbestendig mogelijk te maken. Er is bewijs dat de haarkleur van de koeien invloed heeft op de gevoeligheid van koeien tegen hittestress omdat de vachtkleur gerelateerd is aan de hoeveelheid warmte die geabsorbeerd wordt van zonnestraling (West, 2003).

Op basis hiervan kan er met behulp van fokkerij geselecteerd worden op haarkleur om hittestress, vooral in de wei, te verminderen.



Figuur 2.3 Daling van melkproductie versus de minimale dagelijkse temperatuur

2.2.4 Verspreiding van ziektes en plagen

Als gevolg van de klimaatverandering kunnen bepaalde gebieden meer of juist minder geschikt worden als leefgebied voor allerlei planten, dieren en insecten. Dit kan gevolgen hebben voor alle soorten die in het betreffende gebied voorkomen. Hieronder worden de ziektes en plagen besproken die als gevolg van de klimaatverandering hun leefgebied uitbreiden of verplaatsen.

De meeste ziektes die door vectoren worden overgebracht zijn, door de levenscyclus van de vector, seizoensgebonden. Hieruit kan worden geconcludeerd dat ze afhankelijk zijn van het weer. Neerslag, temperatuur en andere weersvariabelen beïnvloeden zowel de vectoren als de ziekteverwekkers die deze verspreiden. Zo kan bijvoorbeeld een hogere temperatuur invloed hebben op de overlevingskansen en verspreiding van bepaalde vectoren (Gubler, et.al.,2001).

De meest actuele ziekte, door vectoren overgedragen, is blauwtong. Oorspronkelijk is de ziekte gebonden aan gebieden waar de dragersoorten voorkomen, de tropische en subtropische delen van de wereld tussen 35°Zuid en 40°Noord. Door handelsroutes tussen west Azië en Zuid Europa en veranderde windstromen, heeft het blauwtong virus de kans gehad om Europa binnen te komen. Dit gebeurde door middel van besmette dieren of door de wind meegenomen besmette muggen. Blauwtong heeft sinds aankomst in Europa in 1998 de dood veroorzaakt van meer dan één miljoen schapen. Blauwtong is dan ook geclassificeerd als een Lijst A ziekte door de Office International des Epizooties, de wereldorganisatie voor diergezondheid.

Runderen, geiten en wilde herkauwers kunnen wel met het blauwtongvirus worden besmet, maar worden meestal niet erg ziek. Runderen en andere herkauwers kunnen wel een grote rol spelen bij de verspreiding en het in stand houden van de infectie in een gebied. De herkauwers besmetten elkaar vrijwel nooit rechtstreeks, maar de ziekte wordt overgebracht door knutten. In Europa komen zeker 700 soorten knutten voor en in Nederland ongeveer 100. De vervelendste zijn de knutten van het geslacht culicoides, daarvan komen in Nederland 24 soorten voor, waarvan er twee het blauwtongvirus kunnen overdragen (Agriholland, 2007).

In tegenstelling tot bij schapen, vallen de ziekteverschijnselen van blauwtong bij runderen doorgaans mee. De meeste runderen worden niet ziek van de infectie. Bij anderen beperken de verschijnselen zich tot koorts, ontstoken slijmvliezen van neus en bek, zweertjes aan de uier en zwelling van de kroonranden, waardoor kreupelheid kan ontstaan. Doorgaans knappen de dieren zonder veel problemen op (GD, 2007).

In Nederland zijn in 2006 in totaal 208 en in 2007 al 2858 rundveebedrijven besmet (VWA, 2007). De uitbraak van blauwtong heeft in 2006 heeft in Nederland een schade veroorzaakt van 10 tot 15 miljoen euro. Dat blijkt uit een voorlopige berekening van LTO Nederland. De gemiddelde schade per bedrijf in het besmette gebied ligt op 1.300 euro. Hierbij is geen onderscheid gemaakt tussen rundvee- en schapenbedrijven. Het schadebedrag is gebaseerd op de directe en indirecte schade veroorzaakt door het blauwtongvirus die de veehouders hebben aangegeven. Hierbij zijn de extra kosten van het behandelen van ziek vee, de uitval van dieren en extra inseminaties als gevolg van verminderde vruchtbaarheid inbegrepen. Onder indirecte schade valt onder andere de schade veroorzaakt door de handelsbeperkingen en de daarmee gepaard gaande dalende prijzen voor schapen (Boerderij, 2007).

Hoogendam (2007) heeft onderzoek gedaan naar de economische gevolgen van blauwtong in Noordwest Europa. In 2006 waren in Nederland 613 stuks rundvee besmet met het blauwtong virus. De directe ziektekosten zijn de meest directe economische gevolgen van een ziekte. Niet alleen de directe gevolgen van de ziekte, zoals sterfte of gewichtsverlies, maar ook de indirecte kosten zoals dierenarts- of stijgende voerkosten worden meegenomen. De totale directe ziektekosten van de 613 besmette runderen in 2006 in Nederland zijn € 343.000. De totale kosten per met blauwtong besmet dier zijn € 559. Kosten van export beperkingen in binnen- en buitenland, kosten van alle overige opgelegde beperkingen als gevolg van blauwtong in Nederland, kosten die melkveehouders maakten om dieren te controleren op blauwtong en de kosten van preventiemaatregelen zoals het gebruik van extra insecticiden zijn ook meegenomen. De totale kosten en afgenomen opbrengsten leiden in Nederland tot een totale kostenpost van € 25 miljoen. Gemiddeld is dit € 1300 per melkveehouder. De gemiddelde kosten per melkkoe zijn € 10. In 2007 waren 32.184 stuks rundvee besmet met het blauwtong virus. De gemiddelde kosten per melkkoe zijn dit jaar € 12.

Als er geen actie ondernomen wordt om de verspreiding van blauwtong te voorkomen zullen bepaalde dieren resistent worden voor het virus. In 2007 is 10,2% van de rundveestapel besmet, dit betekent dat er naast de kalveren nog een groot deel van dieren niet besmet is. In plaats van blauwtong te accepteren kan er ook gekozen worden voor vaccinatie. In Nederland zijn de totale kosten van één jaar vaccineren € 31.359.000, per bedrijf is dit € 340 en per dier € 3,40. Deze kosten

zijn inclusief dierenartskosten, transport, benodigd materiaal en kosten van het vaccin. Omdat koeien twee keer gevaccineerd moeten worden bedragen de kosten per melkkoe € 6,80 per jaar. Als de Europese Commissie besluit dat vaccineren wordt toegestaan, kan de EU bijdragen aan de vaccinatie door 100% van de vaccinatiekosten en 50% van de dierenartskosten te vergoeden. De kosten per gevaccineerd dier dalen dan tot € 1,50 (Hoogendam, 2007).

2.3 Vergelijkbaar onderzoek

Ook in andere landen wordt onderzoek gedaan naar de gevolgen van de klimaatverandering. Hieronder worden onderzoeken uit de Verenigde Staten (V.S.), Afrika, Finland en Taiwan besproken. Van elk onderzoek wordt de doelstelling, de gebruikte methoden en de resultaten besproken.

2.3.1 *Verenigde Staten*

Onderzoek van Adams et.al. (1995) had als doel om opnieuw de economische gevolgen van lange termijn klimaatverandering vast te stellen voor de landbouw in de V.S. Dit werd gedaan door nieuwe data te verzamelen en deze toe te voegen aan modellen die gebruikt werden in eerdere onderzoeken. De resultaten van dit onderzoek verstrekken inzicht in de mogelijke effecten van de klimaatverandering voor de landbouw in de V.S. en bieden hulp bij het politiek debat over aanpassingen voor deze belangrijke sector.

Om de natuurkundige en biologische verschijnselen te koppelen aan een economisch waarderingsmodel werd gebruik gemaakt van drie stappen. In stap één werden de veranderingen in klimaat bepaald als gevolg van een verdubbelde CO₂ concentratie, tot 555ppm; de verwachting was dat in 2060 deze concentratie is bereikt. Met behulp van drie klimaatmodellen werden voorspellingen gedaan over de veranderingen in regionale temperatuur, neerslag, verdamping en andere klimaatvariabelen. Deze voorspellingen werden gebruikt als input bij de tweede stap van het onderzoek. Bij de tweede stap werd er gebruik gemaakt van plantsimulatiemodellen die de invloed van klimaatverandering op gewasoogst weergaven. Een ander model werd gebruikt om een voorspelling te doen over de benodigde en beschikbare hoeveelheid water. Eenmaal vastgesteld werden de oogst- en irrigatie- effecten gebruikt als input voor de derde fase van het onderzoek. De veranderingen werden gebruikt om een economisch model van de landbouw in de V.S. aan te passen. De coëfficiënten voor regionale gewasoogst, watergebruik van gewassen en regionale beschikbaarheid van water werden aangepast. Hierdoor werden de natuurkundige en biologische effecten van klimaatverandering vertaald in economische effecten voor producenten en binnen- en buitenlandse consumenten. Het model vertegenwoordigde de productie en consumptie van de dertig voornaamste agrarische producten, waaronder zowel groente als veeteelt producten.

Twee van de drie klimaatmodellen resulteerden in economische voordelen, het derde, extremere, model leidde tot substantiële verliezen. In alle analyses hadden de producenten gezamenlijk voordeel van de klimaatverandering. De verandering in agrarische productie als gevolg van de klimaatverandering vertegenwoordigde slechts een klein percentage van de totale economische welvaart die geassocieerd is met deze sector. De economische effecten van potentiële CO₂ bemesting waren in dit onderzoek erg uiteenlopend, met verschillen van bijna \$50 miljard tussen

met CO₂ bemesting en zonder. Een alternatief scenario met een lagere CO₂ concentratie in de lucht (440ppm) resulteerde in verlaagde economische voordelen of hogere verliezen in vergelijking met de 555ppm 'standaard' aannname. Veranderingen in export als gevolg van wereldwijde verandering in voedselproductie en consumptie resulteerde in kleine tot gemiddelde verliezen. Uit deze recente ondervindingen was te concluderen dat matige opwarming in agrarische productiegebieden in de V.S. geen bedreiging is voor de landbouw. Er zijn zelfs voordelen mogelijk, toch zullen voornamelijk de meer zuidelijk gelegen gebieden vooral nadelen ervaren. Grotere temperatuurstijgingen, zoals voorspelt met het derde klimaatmodel, resulteerden in potentiële economische verliezen (Adams et.al, 1995).

2.3.2 Afrika

In de studie van Kurukulasuriya, et.al.(2006) werden boerderijgegevens gebruikt om te bekijken hoe de huidige klimaatverandering de boeren in Afrika beïnvloedde. Deze gegevens waren afkomstig van boerderijen in elf Afrikaanse landen die verspreid lagen in verschillende klimaatgebieden. Er werd vooral gekeken naar de netto bedrijfswinst. De totale netto bedrijfswinst wordt bepaald door de inkomsten van drie bedrijfstakken, gewasteelt op droge grond, gewasteelt op geïrrigeerde grond en veeteelt, bij elkaar op te tellen. Gewasteelt op geïrrigeerde grond is afhankelijk van de beschikbaarheid van water voor irrigatie (van oppervlaktebronnen of grondwater). Gewasteelt op droge grond is afhankelijk van regen die op de boerderij valt. Veeteelt is in Afrika afhankelijk van grazen op natuurlijk grasland of weides. Deze informatie, over netto bedrijfswinst en de verschillende bedrijfstakken, werd gebruikt om de invloed van veranderde temperaturen en neerslag op netto inkomsten van Afrikaanse boeren vast te stellen.

Voor deze studie werd de Ricardian methode van Mendelsohn, Nordhous en Shaw (1994) gebruikt om de relatie tussen netto inkomsten van gewas en klimaat, inclusief andere variabelen in de geselecteerde landen op lage breedtegraden te bestuderen.

Hogere temperaturen hadden een verschillende effect op gewasteelt op droge en op geïrrigeerde grond. De winst van gewasteelt op droge grond daalde bij een temperatuurstijging van 1°C gemiddeld met \$27 per hectare, terwijl de winst van gewasteelt op geïrrigeerde grond steeg met gemiddeld \$30 per hectare. De winst van veeteelt daalde met gemiddeld \$379 per bedrijf. De netto bedrijfsinkomsten van Afrikaanse boeren zullen dalen als er verdere opwarming en uitdroging optreedt. Veehouders en boeren die gewassen produceren op droge gronden zijn extra gevoelig. Boeren op geïrrigeerde gronden hebben een klein voordeel van matige opwarming omdat de irrigatie de klimaatinvloed uitvlakt en omdat deze bedrijven meestal in koelere gebieden in Afrika liggen. Het effect van neerslag op bedrijfswinst was ook sterk verschillend per bedrijfstak. Als de neerslag steeg met 1mm per maand dan steeg de winst per hectare met \$1.66 bij teelt op droge grond en \$2.98 bij geïrrigeerde teelt. Bij veeteelt nam de bedrijfswinst toe met \$15 per mm neerslag per maand. Omdat zowel de veehouderij als de droge grond gewasteelt afhankelijk is van neerslag, zullen de bedrijfsinkomsten stijgen bij toenemende neerslag en dalen bij afnemende neerslag als gevolg van klimaatverandering. Uitgaand van de gemiddelde bedrijfssamenstelling kon geconcludeerd worden dat

een toename van 1mm regen per maand een stijging van de netto bedrijfswinst van \$67 per boerderij veroorzaakte. De resultaten van deze studie laten zien dat Afrika hard getroffen wordt door de hevige klimaatverandering scenario's. Sommige landen zijn kwetsbaarder dan andere, dus het is belangrijk om de aandacht te richten op landen die echt hulp nodig hebben. Uit de studie kwam ook naar voren dat sommige boeren zich al op bepaalde manieren hebben aangepast aan de klimaatverandering. Beleidsmakers willen extra aandacht besteden aan deze succesvolle aanpassingen (Kurukulasuriya, et.al., 2006).

2.3.3 Finland

Onderzoek van Kettunen (1996) had als doel om de mogelijke economische effecten van klimaatverandering op de Finse landbouw te evalueren. Er werd gebruik gemaakt van de resultaten van de laatste studie van het SILMU programma. Omdat er geen exacte scenario's over de oogstverandering aanwezig waren, werden er twee voorbeelden van economische effecten op bedrijfsniveau gepresenteerd. Deze voorbeelden waren gebaseerd op een aangenomen oogst- en kostentoeename van 10%. Deze resultaten kunnen makkelijk toegepast worden op elk scenario dat voorhanden komt nadat er meer studies over oogstniveau gedaan zijn. Het effect van beleidsveranderingen als gevolg van een veranderd vraag en aanbod werd ook meegenomen. Als aanvulling werden ook eerdere economische analyses bekeken.

Er werd allereerst een literatuuronderzoek gedaan naar de gevolgen van klimaatverandering op allerlei niveaus. Eerst werd gekeken wat de invloed is op de prijzen van agrarische producten, vervolgens werd er literatuur beschreven over de invloed op productie zoals, oogst, groeiseizoen, groeigebieden en productie. Om vervolgens, met behulp van deze informatie, de economische effecten te berekenen werd gebruik gemaakt van modellen die ontwikkeld zijn door het Agrarisch Economisch Onderzoek Instituut. Gemiddelde cijfers van een akkerbouwbedrijf en een melkveebedrijf werden vergeleken en op beide bedrijven nam de gewasproductie met 10% toe. Verder namen ook de kosten voor gewasbescherming met 10% toe. Voor akkerbouwers nam de kostenpost voor het drogen van gewassen toe.

De modelberekeningen lieten een inkomen toename zien van 42% op een akkerbouwbedrijf en van 3,2% op een melkveebedrijf. Dit verschil in inkomenstoename werd veroorzaakt doordat akkerbouwbedrijven, doordat hun inkomen voor 100% uit gewasproductie bestaat, meer extra inkomen hadden dan een melkveebedrijf. Melkveebedrijven bespaarden alleen geld doordat ze 10% minder voer hoefden aan te kopen. Het totale effect van de 10% productie- en kostenstijging was FIM 360 miljoen. Dit was 6% van het totale inkomen van alle agrarische bedrijven in Finland, FIM 6000 miljoen (Kettunen, 1996).

2.3.4 Taiwan

Deze studie van Chang (2002) evalueerde de potentiële impact van klimaatverandering op de agrarische sector in een economie die deels ligt in tropisch gebied, Taiwan. De resultaten illustreerden

allereerst de gevoeligheid van de landbouw voor klimaatverandering in dit gebied. Verder toonde ze ook mogelijke economische uitkomsten die de onderzoekers konden helpen te begrijpen hoe belangrijk het is om de agrarische sector aan te passen en zo om te kunnen gaan met deze veranderingen. Het subtropische weer in Taiwan maakt de groei van veel gewassen mogelijk. In de zomermaanden is de temperatuur in noord en zuid ongeveer gelijk (27-28°C). Gedurende de wintermaanden is de gemiddelde temperatuur in het zuiden 5°C hoger (20°C) dan in het noorden (15°C). Alhoewel de neerslagverdeling afhankelijk is van de topografische ligging, varieert de jaarlijkse neerslag in de belangrijke akkerbouwgebieden tussen de 1500 en 2000 mm, met een overvloed van regen in de periode van mei tot oktober.

In deze studie werd de structurele aanpak van Adams (1999) gebruikt die de oogsteffecten van klimaatverandering direct verwerkte in een sector breed economisch model met verschillende mogelijkheden om bedrijfsadaptatie toe te passen. Om te beginnen werden verschillende regressiemodellen gebruikt om de impact van klimaatverandering op de gewasoogst in Taiwan te onderzoeken. De vastgestelde coëfficiënten werden gebruikt om de oogstveranderingen onder alternatieve klimaatscenario's te voorspellen. Een Taiwanees landbouwsectormodel werd gebruikt om de impact van gewasoogst verandering op agrarische productie, landgebruik, welzijnsspreiding en de mogelijkheden voor landbouw om zich aan te passen aan de klimaatverandering te evalueren. Er werden elf klimaatcombinaties gemaakt die elk een alternatief scenario van klimaatverandering voorstelden. Voor temperatuur waren er de variabelen 0, +1.5, +2.5°C en voor neerslag -10, 0, +7 en +15%. Omdat de gebruikte data niet geschikt was om het effect van veranderingen in CO₂ vast te stellen, gingen alle scenario's uit van onveranderde CO₂ niveau en daardoor niet van CO₂ bemestende gevolgen.

De resultaten voor de totale welvaart van producenten en consumenten suggereerden dat de impact van klimaat op welzijn meestal positief is uitgezonderd voor de eerste drie scenario's waar men niet uitgaat van een temperatuurstijging. Dit positieve resultaat kon grotendeels toegekend worden aan de flexibiliteit van het gebruikte model dat toestaat dat boeren hun gewasmix en landgebruikpatronen aanpassen. Doordat het landgebruik verandert daalt het totale benodigde gewasoppervlak, afhankelijk van het scenario, met 1-6%. Omdat landbouwgrond duur is kunnen boeren meer inkomen vergaren als ze hun land intensiever benutten. Ook de overschakeling van traditionele gewassen op gewassen met meer toegevoegde waarde heeft bijgedragen aan de vergroting van welvaart van de producenten. In de laatste acht scenario's leek het alsof klimaatverandering een gelijke uitwerking had op zowel het scenario met 1.5°C en 2.5°C temperatuurstijging. In beide scenario's profiteerden de producenten veel meer dan de consumenten. Een stijging in temperatuur leek meer voordelen te hebben dan een toename van neerslag (Chang, 2001)

Hoofdstuk 3 Modelopzet en berekeningen

In dit derde hoofdstuk wordt allereerst het gebruikte LP model kort beschreven. Vervolgens worden de gebruikte scenario's beschreven en onderbouwd en wordt aangegeven hoe en welke variabelen zijn aangepast naar aanleiding van de literatuurstudie in hoofdstuk 2. Tenslotte worden de twee gebruikte bedrijfstypes, intensief en extensief, omschreven.

3.1 Het LP model

Het model dat gebruikt wordt om de economische gevolgen van klimaatverandering voor de Nederlandse melkveehouderij in beeld te brengen is een lineair programmeringsmodel. Het model is opgesteld voor de analyse van mogelijke effecten van veranderde omstandigheden op Nederlandse melkveebedrijven. De effecten op bedrijfsniveau van deze veranderde omstandigheden worden zichtbaar in het bedrijfsplan, de bedrijfseconomische en de milieutechnische resultaten. Het LP model is een statisch optimaliseringsmodel. De algemene structuur ziet er als volgt uit:

$$\text{Max } \{Z=c'x\}$$

$$Ax = <b$$

$$X \geq 0$$

X = vector activiteiten;

C = vector met saldi en kosten per eenheid activiteit;

A = matrix van technische coëfficiënten;

B = vector met right-hand-side (RHS) waarden.

De algemene structuur van het LP model van Berentsen en Giesen (1995) wordt in tabel 3.1 weergegeven.

Tabel 3.1 Algemene structuur van het LP model

Constraints	Activities										Right-hand side
	Feed production for on-farm use	Feed production for sale	Purchase of feed	Animal production	Manure application	Purchase of fertilizer	Other operations: owner's machinery or contract work	Machinery for owner's mechanization	Nutrient surpluses		
Land requirements	+1	+1									≤ Available hectares
Milk production				a_{1j}							≤ Available quota
Housing requirements				a_{1j}							≤ Available cow places
Labour requirements	a_{1j}	a_{1j}		a_{1j}	a_{1j}	a_{1j}	a_{1j}	a_{1j}			≤ Available labour
Feeding requirements	$-a_{1j}$		$-a_{1j}$	a_{1j}							≤ 0
Fertilizer requirements	a_{1j}	a_{1j}			$-a_{1j}$	$-a_{1j}$					≤ 0
Linking animal production and manure application				$-a_{1j}$	a_{1j}						= 0
Nutrient balances at farm level		a_{1j}	$-a_{1j}$	a_{1j}		$-a_{1j}$			a_{1j}		= 0
Linking production activities and operations	a_{1j}	a_{1j}					$-a_{1j}$				≤ 0
Linking owner's mechanization and new machinery							a_{1j}	$-a_{1j}$			≤ 0
Objective function	Costs per ha	Gross margin	Costs per unit	Gross margins	Costs per unit	Costs per unit	Costs per unit	Annual costs			

Om de verwijzingen makkelijk te houden zijn de activiteiten en de beperkingen versimpeld en gegroepeerd. Het model bestaat uit honderd activiteiten (x) en tachtig beperkingen (b). De verschillende groepen activiteiten die te zien zijn in tabel 3.1 zijn:

- a) Voerproductie voor eigen gebruik
- b) Voerproductie voor de verkoop
- c) Aankoop van voer
- d) Dierlijke productie, inclusief melkkoeien met bijbehorend jongvee en vleesstieren.
- e) Aanwenden van drijfmest op gras- en akkerland.
- f) Aankoop en aanwending van verschillende soorten kunstmest.
- g) Ander werkzaamheden: Eigen mechanisatie en loonwerk
- h) Machines die aangeschaft worden als de werkzaamheden in eigen mechanisatie worden uitgevoerd.

Elke activiteit heeft zijn eigen specifieke vector van input en uitput coëfficiënten. Alle vectoren samen vormen de matrix A. De rijen van de matrix geven het type en de vorm van de beperkingen weer.

- a) De beschikbare vaste activa op het bedrijf (grond, melkquotum en stalcapaciteit) en arbeid
- b) De voerbehoefte van het vee is gekoppeld aan zelf geproduceerd voer en aangekocht voer
- c) De bemestingseisen koppelen de nutriëntenbehoeften van gras- en bouwland aan de beschikbare nutriënten in organische mest en aangekochte kunstmest
- d) Dierlijke productie en mest zijn aan elkaar gekoppeld om te garanderen dat alle geproduceerde mest op het land wordt gebracht
- e) Mineralenbalansen stellen het verlies van stikstof en fosfaat vast
- f) Productieactiviteiten en werkzaamheden zijn aan elkaar gekoppeld om er zeker van te zijn dat noodzakelijke werkzaamheden, zoals maaien en inkuilen van gras, plaatsvinden
- g) Werkzaamheden die uitgevoerd worden met eigen mechanisatie zijn gekoppeld aan de werktuigen om er zeker van te zijn dat de benodigde werktuigen beschikbaar zijn

De laatste rij bevat de doelfunctie van het LP model die gemaximaliseerd wordt. In deze doelfunctie wordt een bedrijfssaldo berekend. Dit saldo is gelijk aan de opbrengsten minus alle variabele kosten en de vaste kosten die samenhangen met de machines die gekozen zijn in het model. De kosten voor grond, gebouwen en vaste werktuigen zijn niet meegenomen in het LP model maar worden apart berekend. De uiteindelijke uitkomst is de arbeidsopbrengst van het gezin. De arbeidsopbrengst is de beloning voor arbeid en management die overblijft nadat alle andere kosten van de opbrengsten afgetrokken zijn.

De beginsituatie van het melkveebedrijf wordt bepaald door de waarden voor grond, melkquotum en beschikbare arbeid en door coëfficiënten die melkproductie per koe en grasproductie per hectare weergeven.

Het model simuleert een eenmansbedrijf met de mogelijkheid om een loonwerker in te schakelen voor de werkzaamheden maaien, inkuilen, mest uitrijden en mest injecteren. De melkkoe staat centraal in het model, deze koe kalft af in februari en geeft een vooraf vastgestelde hoeveelheid melk. Om vervanging van melkkoeien te garanderen is er een evenredige verhouding vastgesteld tussen aantal melkkoeien en jongvee. Een overschot aan vaarzen kan worden verkocht. Het

voedingsgedeelte van het model bestaat uit vier delen. De melkkoeien en het jongvee worden apart gevoerd en er wordt een onderscheid gemaakt tussen zomer en winter. In de zomer kunnen de melkkoeien en het jongvee buiten grazen, in de winter wordt al het vee op stal gehouden. Voor de melkkoeien wordt het rantsoen bepaald door de vraag naar energie en eiwitten, opnamecapaciteit van de melkkoe en haar behoefte aan structuur. De energiebehoefte en voedselopnamecapaciteit in de zomer en winterperiode worden bepaald met behulp van formules van Groen (1988). Voor eiwit wordt het DVE/OEB systeem van Tamminga et.al.(1994) gebruikt. De eiwitbehoefte wordt berekend door de formules van het Centraal Bureau van Vee Voeding (1995) te gebruiken. Omdat de voederbehoefte van jongvee minder gecompliceerd is wordt er bij de voeding alleen gelet op energie- en eiwitbehoefte. Het voer van de melkkoeien en het jongvee bestaat uit weidegras, kuilgras en maïskuil afkomstig van het bedrijf, drie soorten aangekocht krachtvoer die onderling verschillen in eiwitconcentratie, gedroogde bietenpulp en aangekochte maïskuil.

De grondsoort waarmee in het model gerekend wordt is zand. Het land kan gebruikt worden voor de productie van gras en maïs. Gras kan in het model bemest worden met kunstmest en drijfmest en er wordt onderscheid gemaakt in vijf niveaus van minerale stikstofbemesting (100, 200, 300, 400 en 500 kg per hectare). Dit wordt gedaan om rekening te houden met dalende marginale productie bij een stijgende minerale stikstofbemesting. Gras kan gebruikt worden voor zowel begrazing door melkkoeien en jongvee als voor maaien en inkuielen. Dit ingekuilde gras wordt als voer voor zowel de melkkoeien als het jongvee gebruikt. De oppervlakte gras en de verdeling tussen begrazing en maaien is afhankelijk van de wisselwerking tussen de behoefte van het vee, de tijd van het jaar, de prijs van krachtvoer en de prijs en beschikbaarheid van ander voer. Al deze interactie is meegenomen in het model. Om de kwaliteit van gras te behouden is een minimaal percentage maaien noodzakelijk. Dit is in het model verwerkt door een minimale hoeveelheid van 2 kg droge stof aan graskuil in het winterrantsoen van de melkkoeien op te nemen.

Het in model brengen van maïsproductie is minder gecompliceerd. Omdat de maïsproductie bijna niet meer toeneemt als de beschikbare hoeveelheid voedingsstoffen boven het optimum komt (Aarts en Middelkoop, 1990) is er gebruik gemaakt van maar één bemestingsniveau. Maïskuil kan geproduceerd worden als zomer of wintervoer voor de melkkoeien en als wintervoer voor het jongvee. Meststoffen die gebruikt worden bij plantproductie kunnen verstrekt worden door middel van kunstmest en drijfmest. Het model maakt de balansen op voor stikstof en fosfaat op bedrijfsniveau, deze balans is gebaseerd op de aan- en afvoer van meststoffen. Om inzicht te krijgen in de efficiëntie van het gebruik van nutriënten door dieren en gewassen zijn ook balansen opgenomen op veestapel- en bodemniveau. De aanvoer van nutriënten op bedrijfsniveau vindt in het model plaats door de aankoop van kunstmest, voer, krachtvoer en depositie. Nutriëntenafvoer op het bedrijf vindt plaats via de verkoop van melk, vlees, maïs en mest die wordt afgevoerd. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van het model zie Berentsen en Giesen (1995). In 2005 heeft Taks het model aangepast zodat het model bruikbaar bleef na invoering van het gebruiksnormenstelsel. De gebruiksnorm voor stikstof uit dierlijke mest, de stikstofgebruiksnorm voor meststoffen en de fosfaatgebruiksnormen werden opgenomen. Daarnaast werd er ook rekening gehouden met de mogelijkheid tot derogatie wanneer er op meer dan 70% van het totale areaal van het bedrijf gras geteeld wordt. De

uitgangssituatie is dat het bedrijf 170 kg N uit dierlijke mest per hectare mag aanwenden. Echter wanneer het bedrijf in aanmerking komt voor derogatie wordt deze norm verruimd tot 250 kg N uit dierlijke mest. De verhouding in de oppervlakten voor gras- en maïsland bepalen welke 0/1 activiteit gebruikt wordt met de daaraan gekoppelde gebruiksnorm. Voor de derogatie zijn in het model twee 0/1 activiteiten toegevoegd, zodat het model kan kiezen bij meer of minder dan 70% grasland. De beperkingen die hierbij horen zijn: verhouding gras/maïs, beperking gebruiksnorm, gebruiksnorm 170 en gebruiksnorm 250 (Taks, 2005). Veenstra en Vessies (2008) hebben het LP model omgezet naar euro's en de meest actuele kengetallen gebruikt om het model te updaten. Hierbij werd er een onderscheid gemaakt tussen de technische coëfficiënten en de prijzen. Op het gebied van de technische coëfficiënten werden de voederbehoeftes van jongvee aangepast en de prijzen werden allemaal aangepast aan de gegevens vanuit KWIN 07-08. Ook werd de droge stof opbrengst voor maïs verhoogd en het percentage inkuilverliezen verlaagd. Tenslotte zijn de vaste kosten zijn geüpdate vanuit gegevens uit de KWIN 07-08 (Veenstra en Vessies, 2008).

3.2 Klimaatveranderingsscenario's

Naar aanleiding van de literatuurstudie in hoofdstuk 2 wordt onderscheid gemaakt tussen twee soorten effecten van klimaatverandering. Allereerst zijn er de lokale effecten die de Nederlandse melkveebedrijven beïnvloeden door een verandering in gewasproductie. De tweede groep effecten zijn de wereldwijde effecten die de Nederlandse melkveehouderij beïnvloeden door prijsveranderingen op de wereldmarkt. Beide soorten effecten worden bekeken voor het jaar 2050 omdat veel klimaatveranderingsscenario's en studies over de gevolgen van de klimaatverandering t/m 2050 gaan. Voor elke waarde in het LP model die verandert door de lokale en de wereldwijde effecten wordt een gematigde en een extreme variant gegeven. Hieronder worden de lokale en wereldwijde effecten verder beschreven.

3.2.1 Effecten van klimaatverandering lokaal

De productie van voedergewassen op een melkveebedrijf wordt direct beïnvloed door de klimaatverandering. In Nederland komen zachte winters en warme zomers vaker voor als gevolg van de stijgende CO₂ concentratie in de lucht. Ook het directe effect van een verhoogde CO₂ concentratie heeft invloed op gewasgroei. Tenslotte zal ook de vaker voorkomende extreme regenval een rol spelen. Als uitgangspunt voor de veranderingen in de groei van gras en maïs wordt de studie van Schapendonk (1996) gebruikt. Uitgaande van de door hem gebruikt hoog en laag scenario's zal de fysieke opbrengst van maïs in 2050 met respectievelijk 16,2% en 16% afnemen. Omdat deze waarden erg dicht bij elkaar liggen wordt bij zowel de gematigde als de extreme variant een productiedaling van 16% gebruikt. De opbrengst van gras zal volgens Schapendonk (1996) in 2050 met respectievelijk 49,1% en 39,6% zijn toegenomen. Om het bereik te vergroten worden bij de modelberekening de waarden 50% en 25% gebruikt voor respectievelijk de extreme en de gematigde variant. Omdat bij een lage stikstofgift al heel efficiënt met stikstof wordt omgegaan zal bij de laagste stikstofgift (N100)

de grasproductie niet toenemen. De toename in grasproductie zal groter worden naarmate de stikstofgift toeneemt. Bij een stikstofgift van 500 kg/ha zal de grasproductie met het volledige percentage van Schapendonk (1998) toenemen. Bij de tussenliggende stikstofgiften wordt geïnterpoleerd. De verlaagde oogst door vernatting tijdens het inkuilen (Cooper et.al., 1995) en de gevolgen van gewasziektes zoals bladschimmel worden niet in het model opgenomen omdat de gevolgen voor de gewasproductie daarvan moeilijk te voorspellen zijn. Het mogelijke belang van deze effecten komt terug in de discussie.

Als gevolg van de afnemende maïsproductie stijgt de aankoop prijs van maïs per KVEM. De productiekosten per hectare blijven gelijk maar de gewasopbrengst in KVEM per hectare daalt. Omdat snijmaïs per KVEM wordt aangekocht resulteert dit in een prijsstijging. De prijs van aangekochte snijmaïs wordt vermenigvuldigd met de omgekeerde verhouding waarmee de productie van snijmaïs afneemt. De snijmaïsproductie daalt met 16%, de prijs van aangekochte snijmaïs wordt dan 1/0,84 x de oude prijs. De aankoop prijs van snijmaïs wordt dan €164/ 1000 KVEM. De verkoop van maïs gaat per hectare en is onafhankelijk van de gewasopbrengst per hectare. De verkoopprijs blijft daarom gelijk.

Door de verlenging van het groeiseizoen en de daarbij horende verhoogde grasproductie zal het weideseizoen langer worden. Om de verlenging van het weideseizoen op te nemen in het model wordt bij de gematigde variant het weideseizoen verlengt met één maand en bij de extreme variant met twee maanden. Deze verlenging wordt evenredig verdeeld over het begin en het einde van het weideseizoen. In tabel 3.2 worden alle veranderde variabelen als gevolg van lokale klimaatveranderingseffecten weergegeven.

Tabel 3.2 Overzicht van de veranderde variabelen als gevolg van het lokale effecten

Variabele	Standaardwaarde	Nieuwe waarde	
		Gematigd	Extreem
Snijmaïsproductie (x1000 kg ds/ ha)	13,78	11,58	11,58
Grasproductie (1000KVEM/ ha)			
100 kg Nmin/jaar	7,25	7,25	7,25
200 kg Nmin/jaar	9,20	9,91	10,62
300 kg Nmin/jaar	10,41	11,83	13,25
400 kg Nmin/jaar	11,10	13,23	15,35
500 kg Nmin/jaar	11,43	14,27	17,10
Kosten snijmaïs aankoop (€/ 1000KVEM)	138	164	164
Lengte weideperiode (dgn)	182,5	213	243

3.2.2 Effecten van klimaatverandering wereldwijd

Voor de productie van krachtvoer zijn grondstoffen nodig uit allerlei delen van de wereld. De opbrengst van deze grondstoffen per hectare wordt beïnvloed door de veranderde weersomstandigheden. Daarnaast zijn er minder hectares grond beschikbaar voor de productie van deze grondstoffen door de opkomst van de productie van energiegewassen. Belangrijke grondstoffen voor krachtvoer zijn soja en granen. Uit de literatuurstudie blijkt dat de opbrengst van soja in de

gematigde klimaatgebieden zal toenemen en in de warmere gebieden zal afnemen. Het aanbod zal als gevolg hiervan in sommige landen stijgen en in andere dalen. Voor de verandering in krachtvoerkosten wordt uitgegaan van de voorspellingen van de OESO (2007). In figuur 2.2 wordt een voorspelling gedaan van de wereldmarktprijzen van verschillende gewassen van 2004 tot 2014. De tarweprijs in 2014 wordt gebruikt om de tarweprijs in 2050 te bepalen. De tarweprijs van het politieke doel scenario is de gematigde variant en die van het hoge olieprijs scenario is de extreme variant. De verandering van tarweprijs voor beide varianten in 2014 t.o.v. 2004 is respectievelijk, +2,5% en +15,4%. De verandering wordt per 10 jaar gelijk gehouden en dit resulteert in een prijsverandering in 2050 van +11,5% voor de gematigde variant en een verandering van +70,8% voor de extreme variant.

De prijs van snijmaïs zal op soortgelijke wijze beïnvloed worden door de wereldwijde effecten van klimaatverandering. Er wordt uitgegaan van een prijsstijging die gelijk is aan die voorspeld door het OESO (2007). Ook nu wordt met behulp van figuur 2.2 een voorspelling gedaan van de maïsprijs in 2050. De prijs van het politieke doel scenario is de gematigde variant en die van het hoge olieprijs scenario is de extreme variant. De verandering van maïsprijs voor beide varianten in 2014 t.o.v. 2004 is respectievelijk, +1,7% en +18,3%. De verandering wordt per 10 jaar gelijk gehouden en dit resulteert in een prijsverandering in 2050 van +7,8% voor de gematigde variant en een verandering van +84,2% voor de extreme variant. In tabel 3.3 wordt een overzicht gegeven van de veranderde variabelen als gevolg van de wereldwijde effecten. In bijlage 1 wordt een totaal overzicht gegeven van de veranderde variabelen als gevolg van de lokale en wereldwijde effecten.

Tabel 3.3 Overzicht van de veranderde variabelen als gevolg van de wereldwijde effecten

Variabele	Standaardwaarde	Nieuwe waarde	
		Gematigd	Extreem
Krachtvoerkosten (€/ 1000kg)			
Krachtvoer standaard A brok	145	162	248
Krachtvoer eiwitrijk	165	184	282
Krachtvoer zeer eiwitrijk	190	212	325
Krachtvoer jongvee	145	162	248
Krachtvoer opfok	169	188	289
Krachtvoer pulp	162	181	277
Stierenbrok eiwitrijk	182	203	311
Kosten snijmaïs aankoop (€/ 1000KVEM)	138	149	254
Opbrengst maïs verkoop* (€/ KVEM)	0,06	0,07	0,11

* oogstkosten zijn voor rekening van de koper

3.3 Modelaanpassingen ten behoeve van de scenario's

Om de gevolgen van de hiervoor beschreven veranderingen zichtbaar te maken moet het model aangepast worden. Allereerst worden alle variabelen uit tabel 3.2 en 3.3 verandert. Om de verlenging van het weideseizoen in het model op te nemen moeten een aantal stappen worden genomen. In het model worden twee cellen opgenomen met daarin de lengte van de weide en van de stalperiode. Vervolgens worden alle getallen in het model die betrekking hebben op de lengte van de stal of

weideperiode vervangen door een verwijzing naar deze nieuwe cellen. Voor jongvee moet de voederbehoefte tijdens de stal en weideperiode handmatig verandert worden. Ook de verdeling over stal en weideperiode van de melkgift van de melkkoeien en de energiebehoefte, eiwitbehoefte en drogestof opnamecapaciteit verandert als de weideperiode langer en de stalperiode korter wordt. Ook deze waarden worden handmatig aangepast. Het aantal staldagen speelt tenslotte ook een rol bij de maximale krachtvoergift voor melkkoeien. De maximale krachtvoergift wordt met behulp van verhoudingen uiterekend en in het model ingevuld.

Een andere aanpassing die gemaakt moet worden heeft te maken met de gevolgen van de lokale effecten. Door de toegenomen grasproductie is er minder grond nodig voor de productie van kuilgras. Om het mogelijk te maken op de overgebleven grond snijmaïs voor de verkoop te verbouwen is er een activiteit mestaanvoer in het model opgenomen waaraan geen kosten verbonden zijn. Dit voorkomt dat gegeven de opbrengstprijzen snijmaïs verbouwen te duur is als arbeid en mest aangekocht moeten worden. De 'nieuwe' activiteit heeft precies dezelfde samenstelling als afgevoerde mest. De gebruiksnormen zorgen ervoor dat de aanvoer van mest binnen de perken blijft.

Als bij de modelberekeningen zowel de lokale als de wereldwijde effecten meegenomen worden resulteert dit in een dubbele prijsstijging van de aankoopprijs van snijmaïs. De eerste wordt veroorzaakt door een daling van de maïsproductie en de tweede door een stijging van de wereldmarktprijs. Om een realistisch beeld te krijgen wordt er in dit geval de som van beide als aankoopprijs van snijmaïs gebruikt. Bij de gematigde variant is de aankoopprijs dan € 177 en bij de extreme variant € 302.

3.4 Opzet van de berekeningen

Omdat er veel variatie is in bedrijfsgrootte wordt in dit onderzoek gebruik gemaakt van twee verschillende bedrijfstypes, een intensief en een extensief bedrijf. Beide bedrijven hebben een totaal melkquotum van 800.000 kilo, hierdoor zijn ze goed te vergelijken. Het intensieve melkveebedrijf heeft 16.000 kilo quotum per hectare en het extensieve bedrijf 12.000 kilo quotum per hectare. In tabel 3.4 wordt de opzet van de twee bedrijfstypes gegeven.

Tabel 3.4 Opzet van het intensieve en extensieve melkveebedrijf

Kengetal	Intensief melkveebedrijf	Extensief melkveebedrijf
Melkquotum (kg)	800.000	800.000
Oppervlakte grond (ha)	50	67
Melkproductie per koe (kg)	7700	7700
Beschikbare arbeid (uren)	3757	3757

Bij het uitvoeren van de berekeningen worden allereerst de resultaten van het intensieve melkveebedrijf met matige lokale effecten berekend. Vervolgens worden de resultaten van de matige wereldwijde effecten en die van een combinatie van de matige lokale en de matige wereldwijde effecten geproduceerd. Vervolgens wordt hetzelfde gedaan maar dan met de extreme varianten voor lokale en wereldwijde effecten en een combinatie van beiden.

Hierna wordt de intensiteit verlaagd naar 12.000 kg melk per ha en worden de resultaten berekend voor het extensieve bedrijf met gematigde lokale en wereldwijde effecten en met extreme effecten.

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de optimalisaties van de verschillende uitgangssituaties besproken. Eerst worden de resultaten van het intensieve uitgangsbetrijf en vervolgens die van het extensieve bedrijf besproken.

4.1 Intensief bedrijf

In onderstaande tabellen worden de belangrijkste resultaten van de modelberekening van een intensief bedrijf weergegeven. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen technische, milieutechnische en economische resultaten. Het bedrijf heeft in de basissituaties 104 melkkoeien en 32 stuks jongvee. Eerst volgen de resultaten van de gematigde variant en vervolgens de resultaten van de extreme variant.

4.1.1 Gematigde variant

In tabel 4.1 worden de technische resultaten van het intensieve bedrijf zonder effecten van klimaatverandering gegeven in de basissituatie. In de tweede kolom staan deze resultaten bij de gematigde lokale effecten en in de derde die bij de gematigde wereldwijde effecten. In de laatste kolom worden beide gecombineerd om het totale effect weer te geven.

In de basissituatie bestaat het stalrantsoen van de melkkoeien voor het grootste deel uit snijmaïs met daarbij de maximale hoeveelheid krachtvoer. Tijdens de weideperiode waarin de koeien beperkt geweid worden bestaat het rantsoen grotendeels uit gras met daarnaast maïs en krachtvoer. In het model worden beperkingen van het rantsoen aangegeven door een schaduwprijs voor een voedereis. In het stalrantsoen van de basissituatie is er een schaduwprijs voor VEM en OEB. Dit zijn de beperkende factoren van het rantsoen. De beperkingen van het weideseizoen zijn VEM en de droge stof opname capaciteit van de koe. Het teeltplan wordt gestuurd door de rantsoenen. In de basissituatie wordt op 44 hectare gras geteeld, op de overige 6 hectare wordt maïs verbouwd. Het grasland wordt met 226 kg stikstof bemest. In de basissituatie wordt derogatie toegepast en de gebruiksnorm voor dierlijke mest van 250 kilo stikstof per hectare is beperkend (zie tabel 4.2). Omdat de maïs uit eigen ruwvoerproductie niet voldoende is om al het vee te voeren koopt het bedrijf maïs aan. Ook al het krachtvoer wordt aangekocht. Daarnaast wordt er 5,3 ton stikstofkunstmest voor op het grasland aangekocht.

In de situatie met gematigde lokale effecten verandert de verhouding van gras en snijmaïs in het stalrantsoen. Als gevolg van de productiestijging van gras vervangt het model zeer eiwitrijk krachtvoer en maïs door gras. Als gevolg van het verlengde weideseizoen verandert ook de verdeling van de krachtvoergift. Omdat de droogstand in de stalperiode valt beïnvloed de verlaagde krachtvoergift tijdens deze periode de maximale krachtvoergift in de stalperiode. Als de stalperiode met één productiemaand afneemt wordt de invloed van de droogstand vergroot. Er mag als gevolg hiervan in

het stalrantsoen nog maar maximaal 7,2 kilo krachtvoer gevoerd worden. De beperkende factoren van het stalrantsoen zijn behalve VEM en OEB nu ook DVE.

Tabel 4.1 De technische resultaten van het intensieve uitgangsbetrijf met gematigde effecten van klimaatverandering

	Basissituatie	Lokaal	Wereldwijd	Combinatie
Rantsoen kg ds/koe/dag stalperiode				
- gras	2	3,2	2	3,2
- snijmaïs	6,7	6,1	6,7	6,1
- krachtvoer tot	8	7,2	8	7,2
* standaard	5,6	5,9	5,6	5,9
* matig eiwitrijk	0	0	0	0
* zeer eiwitrijk	2,4	1,3	2,4	1,3
- beperking (V,C,D,O, S ¹)	V, O	V, D, O	V,O	V, D, O
Rantsoen kg ds/koe/dag weideperiode				
- gras	13,4	13,0	13,4	13,0
- snijmaïs	4,2	4,0	4,2	4,0
- krachtvoer tot	1,7	2,2	1,7	2,2
* standaard	1,7	2,2	1,7	2,2
* matig eiwitrijk	-	-	-	-
* zeer eiwitrijk	-	-	-	-
- beperking (V,C,D,O, S ¹)	V,C	V, C	V, C	V, C
Oppervlakte				
- gras	44,1	46,5	44,1	46,5
- snijmaïs	5,9	3,5	5,9	3,5
- snijmaïs verkoop	-	-	-	-
N niveau grasland	226	227	226	227
Voeraankoop (1000 KVEM)				
- snijmaïs	179,8	178,6	179,8	178,6
- krachtvoer	175,8	157,8	175,8	157,8
Kunstmest aankoop (kg)				
- N	5292	5348	5292	5348
- P2O5	-	47	-	47

¹V=VEM, C=Droge stof opname capaciteit, D=DVE, O=OEB en S=Structuur

Het weiderantsoen verandert weinig ten opzichte van het basis weiderantsoen. De hoeveelheid gras en maïs neemt iets af terwijl de hoeveelheid krachtvoer iets toeneemt. De hoeveelheid snijmaïs in het weiderantsoen is nu vier kilo. Dit is de minimum hoeveelheid die in de weideperiode bij beperkt weiden gevoerd moet worden. De beperkingen van het weiderantsoen zijn gelijk aan die in de basissituatie. Het teeltplan bestaat nu uit minder snijmaïs. Het stikstofniveau van grasland blijft gelijk en ook nu is de gebruiksnorm voor dierlijke mest beperkend. De hoeveelheid aangekochte snijmaïs blijft gelijk. De aankoop van krachtvoer neemt af enerzijds door de verlaging van de krachtvoergift in het stalrantsoen en anderzijds door de verkorting van de stalperiode met één maand. Dit scheelt

gedurende deze maand per koe per dag vijf kilo krachtvoer. De stikstofkunstmest aankoop voor op het grasland neemt toe als gevolg van het grotere areaal grasland. Het grasland wordt verder nog bemest met 1 kilo fosfaatkunstmest per hectare.

De technische resultaten van het melkveebedrijf, nadat de wereldwijde effecten zijn doorgevoerd, veranderen niet ten opzichte van de basissituatie. De rantsoenen voor melkvee in de weide en stalperiode blijven gelijk aan die in de basissituatie. Ook het teeltplan en de aangekochte hoeveelheid ruwvoer, krachtvoer en kunstmest blijven gelijk. Het blijkt dat het economisch niet interessant is de bedrijfsvoering aan te passen aan de gestegen prijzen.

Tenslotte worden de resultaten voor een combinatie van lokale en wereldwijde effecten van het intensieve melkveebedrijf bekeken. Hieruit blijkt dat alleen de lokale effecten invloed hebben op de technische resultaten.

In tabel 4.2 zijn de belangrijkste milieutechnische resultaten van het intensieve bedrijf weergegeven. In alle gevallen wordt derogatie toegepast en is de gebruiksnorm voor dierlijke mest beperkend. Bij de lokale en de gecombineerde effecten zijn de stikstof en fosfaatoverschotten per hectare lager omdat het areaal grasland in deze situaties groter is dan in de basissituatie. Ook wordt er in deze gevallen precies op de eiwitnorm gevoerd. De mestafvoer neemt toe in de lokale en gecombineerde situatie door de verminderde mestaanwending op bouwland.

Tabel 4.2 De milieutechnische resultaten van het intensieve uitgangsbetrijf met gematigde effecten van klimaatverandering

	Basissituatie	Lokaal	wereldwijd	Combinatie
Beperking Gebruiksnormen ²	250	250	250	250
Mestafvoer (m ³)	190	198	190	198
N-overschot kg per ha	202	183	202	183
P2O5 overschot kg per ha	18	11	18	11

²250=gebruiksnorm dierlijke mest

De belangrijkste economische resultaten worden in tabel 4.3 weergegeven. Ook nu weer is er voor elke variant één kolom. De totale opbrengsten bestaan uit melkgeld, verkoop van melkvee en eventueel verkoop van snijmaïs. De kosten voor ruwvoervoorziening bestaan uit kosten voor graslandonderhoud (exclusief meststoffen), kosten voor maaien en inkuilen door loonwerker of met eigen mechanisatie, kosten voor maïsland onderhoud (exclusief meststoffen) en de loonwerk kosten voor het inkuilen van de snijmaïs. Bij een tekort aan eigen ruwvoer wordt ruwvoer aangekocht, deze kosten staan bij de kosten van aangekocht ruwvoer. De andere variabele kosten zijn kosten van aangekocht krachtvoer, kosten van meststoffen, kosten voor mestafvoer, kosten van variabele arbeid en overige variabele kosten (onder andere kosten van gezondheidszorg bij de melkkoeien). Alle genoemde kosten opgeteld zijn de totale variabele kosten. Het saldo is de totale opbrengsten min de variabele kosten, in de basissituatie is dit €132.026. Het saldo min de vaste kosten is de arbeidsopbrengst. De vaste kosten zijn constant en afhankelijk van de hoeveelheid grond en of er een maaier en opraapwagen in eigen mechanisatie opgenomen zijn. In de basissituatie is dit niet het geval en wordt het maaien en inkuilen uitbesteed aan de loonwerker. De schaduwprijs is de prijs die betaald

kan worden voor één extra eenheid van een productiemiddel, zonder dat de arbeidsopbrengst verandert.

Tabel 4.3 De economische resultaten van het intensieve uitgangsbetrijf met gematigde effecten van klimaatverandering

	Basissituatie	Lokaal	Wereldwijd	Combinatie
Totale opbrengsten	271800	271800	271800	271800
Variabele kosten				
- Kosten ruwvoervoorziening	19227	18041	19227	18041
- Kosten aangekocht ruwvoer	24760	29299	26794	31621
- Kosten krachtvoer totaal	30469	26552	34025	29656
- Kosten meststoffen				
* N	3801	3851	3801	3851
* P2O5	0	22	0	22
- Kosten mestafvoer	3035	3171	3035	3171
- Kosten variabele arbeid	13413	14012	13413	14012
- Overige variabele kosten	45069	44627	45069	44627
Totaal	139774	139575	145364	145001
Saldo	132026	132225	126436	126799
Totale vaste kosten	107707	107125	107707	107125
Arbeidsopbrengst	24139	25100	18729	19674
Schaduwprijs				
* Grond (per ha)	1087	1000	1225	1128
* Melkquotum (per 1000kg)	46	52	30	37

Uit de resultaten van de lokale effecten blijkt dat de kosten van ruwvoervoorziening dalen. Dit wordt veroorzaakt doordat 2,4 hectare maïsland vervangen wordt door grasland. Omdat de kosten van maïsproductie per hectare hoger zijn dan die van grasproductie nemen de kosten van ruwvoervoorziening als gevolg van de verandering in het bouwplan af. Deze afname wordt wel gereduceerd doordat de kosten voor maaien en inkuilen stijgen als gevolg van de productietoename van gras per hectare. De kosten van aangekocht ruwvoer stijgen ondanks dat er minder ruwvoer wordt aangekocht. Dit is een gevolg van de gestegen aankoopprijs van 1000 KVEM snijmaïs. De totale variabele kosten nemen iets af doordat de verminderde hoeveelheid krachtvoeraankoop de meerkosten van ruwvoeraankoop, mestafvoer, aankoop meststoffen en variabele arbeid compenseert. Doordat de koeien langer in de wei lopen komt er in de stalperiode minder mest in de put. Er is dus minder ruimte nodig voor mestopslag waardoor de vaste kosten afnemen. Dit alles resulteert in een totale arbeidsopbrengst van €25.100, een stijging van 4% ten opzichte van de basissituatie.

In de situatie met wereldwijde effecten stijgen de kosten van aangekocht ruw- en krachtvoer met als gevolg stijgende variabele kosten en een lager saldo. De vaste kosten zijn gelijk aan die in de basissituatie. De totale arbeidsopbrengst daalt met 22% als gevolg van de gematigde prijsstijging van ruwvoer en krachtvoer.

De resultaten van een combinatie van beide effecten zijn de som van de voorgaande resultaten. De arbeidsopbrengst is als gevolg ruim 18% lager dan in de basissituatie.

De schaduwprijs van grond is het hoogst bij de wereldwijde effecten. In deze situatie is de maïsprijs vrij hoog en kan er op extra grond maïs worden verbouwd met een normale gewasopbrengst. In de situatie met de lokale en gecombineerde effecten is de snijmaïs prijs weliswaar hoger maar heeft een extra hectare grond minder gewasopbrengst waardoor de schaduwprijs van grond lager is. De schaduwprijs van melkquotum is het hoogst bij de lokale effecten omdat hier de productiekosten het laagst zijn.

4.1.2 Extreem scenario

In tabel 4.4 zijn de belangrijkste technische resultaten van het intensieve uitgangsbetrijf met extreme effecten van klimaatverandering weergegeven. De lokale effecten zijn soortgelijk aan die in tabel 4.1 alleen extremer. Omdat de stalperiode met twee productiemaanden afneemt wordt de invloed van de droogstand op de voederbehoefte nog groter. Er mag als gevolg hiervan in het stalrantsoen nog maar maximaal 7 kilo krachtvoer gevoerd worden.

Als de wereldwijde verandering in extreme mate wordt doorgevoerd stijgen de prijzen van krachtvoer en maïs zo fors dat na optimalisatie het melkquotum niet wordt vol gemolken. Er worden maar 84 melkkoeien en 26 stuks jongvee gehouden om te voorkomen dat er mest moet worden afgevoerd. Omdat maïs duur is wordt ook nu weer minder snijmaïs en meer gras in het stalrantsoen opgenomen. Om dit laatste te compenseren wordt minder eiwitrijk krachtvoer in het rantsoen opgenomen. De beperkingen van het stalrantsoen zijn VEM, DVE en OEB. In het weiderantsoen neemt de hoeveelheid krachtvoer af. Het teeltplan verandert drastisch en derogatie is in dit geval beperkend (zie tabel 4.5). Het bedrijf moet minimaal 35 hectare grasland telen om derogatie te mogen toepassen. Op de overige 15 hectare kan maïs worden verbouwd maar de productie hiervan is onvoldoende om alle koeien te voeren met als gevolg dat er nog 1350 KVEM snijmaïs moet worden aangekocht. De prijs van krachtvoer en snijmaïs stijgt en omdat gras deze voedermiddelen deels vervangt is er een hogere grasproductie nodig. Deze wordt gerealiseerd door gras te produceren op een hoger stikstofniveau.

Ook wanneer de lokale en wereldwijde effecten gecombineerd worden houdt het melkveebedrijf maar 85 melkkoeien en 27 stuks jongvee. Bij deze omvang van de veestapel hoeft er geen ruwvoer te worden aangekocht en geen mest te worden afgevoerd. Omdat de prijs van maïs nu extreem hoog is door een combinatie van dalende productie en stijgende wereldmarktprijs wordt er in het stalrantsoen geen snijmaïs meer opgenomen. In plaats daarvan wordt er 9 kilo gras gevoerd met daarbij de maximale hoeveelheid krachtvoer. Het krachtvoer bestaat grotendeels uit standaard brok. Alleen VEM is een beperking voor het stalrantsoen. De hoeveelheid ruwvoer in het weiderantsoen neemt iets af, ter compensatie is de krachtvoergift met ruim 1 kilo toegenomen. Het jongvee krijgt tijdens de stalperiode alleen gras gevoerd. In de weideperiode moet minimaal 4 kilo snijmaïs gevoerd worden. Hiervoor wordt 7,7 hectare grond in gebruik genomen. Op de overige 42 hectare wordt gras geteeld met een stikstofniveau van 278. De aankoop van krachtvoer daalt omdat er minder

melkkoeien op het bedrijf aanwezig zijn. Er wordt bijna een ton fosfaatkunstmest aangekocht. Deze wordt zowel op grasland als op bouwland toegepast ter compensatie van drijfmest.

Tabel 4.4 De technische resultaten van het intensieve uitgangsbetrijf met extreme effecten van klimaatverandering

	Basissituatie	Lokaal	Wereldwijd	Combinatie
Rantsoen kg ds/koe/dag stalperiode				
- gras	2	3,3	3,3	9,1
- snijmaïs	6,7	5,6	5,5	0
- krachtvoer tot	8,0	7,0	8,0	7,0
* standaard	5,6	5,9	7,0	6,2
* matig eiwitrijk	0	0	0	0
* zeer eiwitrijk	2,4	1,1	1,0	0,8
- beperking (V,C,D,O, S ¹)	V, O	V, D, O	V, D, O	V
Rantsoen kg ds/koe/dag weideperiode				
- gras	13,4	12,8	13,5	12,2
- snijmaïs	4,2	4	4,2	4
- krachtvoer tot	1,7	2,3	1,4	2,8
* standaard	1,7	2,3	1,4	2,8
* matig eiwitrijk	-	-	-	-
* zeer eiwitrijk	-	-	-	-
- beperking (V,C,D,O, S ¹)	V,C	V, C	V, C	V, C
Oppervlakte				
- gras	44,1	47,1	35	42,2
- snijmaïs	5,9	3	15	7,7
- snijmaïs verkoop	-	-	-	-
N niveau grasland	226	224	332	278
Voeraankoop (1000 KVEM)				
- snijmaïs	179,8	163,1	1,4	-
- krachtvoer	175,8	143,7	138,9	127,2
Kunstmest aankoop (kg)				
- N	5292	5040	8106	5950
- P2O5	-	330	372	990

¹V=VEM, C=Droge stof opname capaciteit, D=DVE, O=OEB en S=Structuur

In tabel 4.5 worden de belangrijkste milieutechnische resultaten van het intensieve melkveebedrijf met extreme klimaatveranderingen weergegeven. Bij de lokale effecten is de gebruiksnorm voor dierlijke mest beperkend. Er wordt meer mest afgevoerd omdat er minder bouwland in het teeltplan is opgenomen. De overschotten zijn kleiner omdat efficiënter met stikstof en fosfaat wordt omgegaan. Bij de wereldwijde effecten wordt mest aangevoerd en deze aanvoer wordt beperkt door de gebruiksnorm dierlijke mest. Het stikstofoverschot is hoger omdat er op een hoog stikstofniveau gras geteeld wordt. Bij de combinatie van effecten is zowel de gebruiksnorm dierlijke mest als de fosfaatgebruiksnorm beperkend. Het stikstofoverschot is lager omdat gras efficiënter met

stikstof omgaat, het fosfaat overschot is ongeveer gelijk doordat er meer hectare maïs zijn met daarbij een fosfaatkunstmestgift.

Tabel 4.5 De milieutechnische resultaten van het intensieve uitgangsbetrijf met extreme effecten van klimaatverandering

	Basissituatie	Lokaal	Wereldwijd	Combinatie
Beperking Gebruiksnormen ²	250	250	250	250, P
Mestafvoer (m3)	190	221	0	0
Mestaanvoer (m3)	0	0	218	0
N-overschot kg per ha	202	160	210	158
P2O5 overschot kg per ha	18	11	10	18

²P=FosfaatGebruiksnorm, 250=gebruiksnorm dierlijke mest

In tabel 4.6 worden de economische resultaten weergegeven. In de situatie met lokale effecten zijn de kosten van ruwvoer lager omdat er minder maïs en meer gras in het rantsoen zijn opgenomen. De kosten van een hectare gras zijn lager dan de kosten van een hectare maïs. Als gevolg hiervan en de afname in overige variabele kosten is het uiteindelijke saldo hoger dan in de basissituatie. De uiteindelijke arbeidsopbrengst is €32.958, ruim 36% hoger dan in de basissituatie.

Tabel 4.6 De economische resultaten van het intensieve uitgangsbetrijf met extreme effecten van klimaatverandering

	Basissituatie	Lokaal	Wereldwijd	Combinatie
Totale opbrengsten	271800	271800	220445	222138
Variabele kosten				
- Kosten ruwvoervoorziening	19227	16599	31126	23000
- Kosten aangekocht ruwvoer	24760	26756	362	-
- Kosten krachtvoer totaal	30469	24008	39679	35899
- Kosten meststoffen				
* N	3801	3628	5837	4293
* P2O5	0	187	204	549
- Kosten mestafvoer	3035	3538	0	0
- Kosten variabele arbeid	13413	13623	3800	8449
- Overige variabele kosten	45069	43941	36436	36542
Totaal	139774	132280	117444	108732
Saldo	132026	139520	103001	113406
Totale vaste kosten	107707	106562	107707	110663
Arbeidsopbrengst	24139	32958	-4706	2743
Schaduwprijs				
* Grond (per ha)	1087	983	1242	1457
* Melkquotum (per 1000kg)	46	62	0	0

Bij de wereldwijde effecten dalen de inkomsten door verlaagde melkopbrengsten. De kosten van de ruwvoervoorziening stijgen aanzienlijk als gevolg van de 15 hectare maïs in het bouwplan. Daarbij moet dan ook nog 1350 KVEM dure snijmaïs worden aangekocht. Doordat de wereldmarktprijs van grondstoffen extreem is toegenomen stijgen de krachtvoerkosten tot €39.679. Omdat er op een hoog stikstofniveau grasland geproduceerd wordt zijn de kosten voor stikstof en fosfaatkunstmest hoog. De overige variabele kosten zijn lager omdat er minder melkkoeien gehouden worden. De variabele kosten arbeid zijn als gevolg hiervan ook lager. Uiteindelijk is het saldo niet voldoende om de vaste kosten te dekken en is de arbeidsopbrengst -€ 4706.

De combinatie van extreme lokale en wereldwijde effecten heeft een positieve arbeidsopbrengst van €2743. De variabele kosten zijn lager dan in de basissituatie doordat de stijging van de krachtvoerkosten, de kosten van ruwvoervoorziening en meststoffen ruimschoots gecompenseerd worden doordat er geen ruwvoer aangekocht wordt en de variabele kosten van de melkkoeien en arbeid lager zijn. Doordat het quotum niet geheel wordt vol gemolken zijn de opbrengsten lager. De vaste kosten zijn hoger omdat het bedrijf een opraapwagen in eigen bezit heeft.

De schaduwprijs van grond is het hoogst bij de gecombineerde effecten, in deze situatie is de waarde van ruwvoer het hoogst door de hoge prijzen. Daarbij is de productiviteit van grasland het hoogst. De schaduwprijs van melkquotum is 0 bij de wereldwijde en gecombineerde effecten omdat in beide gevallen niet het hele quotum gebruikt wordt. De schaduwprijs is het hoogst bij de lokale effecten, de kostprijs is hier het laagst.

4.1.3 Vergelijking matige en extreme variant bij de intensieve uitgangssituatie

Op het intensieve melkveebedrijf hebben de gematigde lokale en wereldwijde veranderingen weinig invloed op de technische resultaten. Als gevolg van de lokale effecten verandert het rantsoen en daarmee het bouwplan. De extreme varianten van de lokale en wereldwijde effecten hebben een heel wat grotere impact op het melkveebedrijf. Op de bedrijven met de wereldwijde en gecombineerde effecten worden er minder melkkoeien gehouden om de variabele kosten te verlagen. Bij de combinatie van effecten wordt zelfs helemaal geen snijmaïs meer opgenomen in het stalrantsoen. De maïsprijs is in deze situatie sterk gestegen als gevolg van de verlaagde productie per hectare en de verhoogde prijs op de wereldmarktprijs.

Bij de gematigde effecten is in alle gevallen de gebruiksnorm dierlijke mest beperkend. Bij de extreme wereldwijde effecten zijn de fosfaatgebruiksnorm en de totale stikstofgebruiksnorm beperkend. In alle gevallen wordt mest afgevoerd, behalve op de bedrijven waar minder koeien aanwezig zijn. Bij de wereldwijde extreme effecten wordt zelfs mest aangevoerd om grasproductie op een hoog stikstofniveau zo goedkoop mogelijk te realiseren.

De arbeidsopbrengst neemt bij zowel de gematigde als extreme lokale effecten toe. Bij de extreme variant is deze toename procentueel gezien groter. Bij de wereldwijde en gecombineerde effecten vindt bij zowel de gematigde als de extreme variant een daling van de arbeidsopbrengst plaats. De daling resulteert bij de extreme wereldwijde effecten in een negatieve arbeidsopbrengst.

Bij de combinatie van effecten wordt deze afname nog deels gecompenseerd door de invloed van de lokale effecten.

4.2 Extensief bedrijf

In onderstaande tabellen worden de resultaten van de modelberekening van een extensief bedrijf weergegeven. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen technische, milieutechnische en economische resultaten. Het bedrijf heeft 104 melkkoeien en 32 stuks jongvee.

4.2.1 Gematigde scenario

In tabel 4.7 worden de technische resultaten van het extensieve bedrijf met gematigde effecten van klimaatverandering weergegeven. In de basissituatie van het extensieve bedrijf bestaat het stalrantsoen van de melkkoeien voor het grootste deel uit snijmaïs met daarbij de maximale hoeveelheid krachtvoer. Tijdens de weideperiode waarin de koeien beperkt geweid worden bestaat het rantsoen grotendeels uit gras met daarnaast maïs en krachtvoer. In het stalrantsoen van de basissituatie is er een schaduwprijs voor VEM en OEB. Dit zijn de beperkende factoren van het rantsoen. De beperkingen van het weideseizoen zijn VEM en de droge stof opname capaciteit van de koe. Het teeltplan wordt gestuurd door de rantsoenen. In de basissituatie wordt derogatie toegepast en precies op 70% van het areaal gras geteeld. Het grasland wordt gemiddeld met 212 kg stikstof bemest. Het extensieve bedrijf hoeft geen maïs aan te kopen omdat de eigen ruwvoerproductie voldoende is. Er kan zelfs nog 0,4 hectare maïs verkocht worden. Er wordt wel krachtvoer en stikstofkunstmest aangekocht.

Als gevolg van de lokale effecten stijgt het aandeel gras in het stalrantsoen en daalt de hoeveelheid maïs. Omdat er meer gras in het rantsoen is opgenomen daalt de hoeveelheid zeer eiwitrijk krachtvoer. De totale hoeveelheid krachtvoer neemt ook af. VEM, DVE en droge stof opname capaciteit van de melkkoe zijn beperkende factoren van het stalrantsoen. In het weiderantsoen neemt het aandeel ruwvoer iets af en neemt de krachtvoergift toe met ruim één kilo. Door de verandering in rantsoenen verandert het bouwplan enigszins. Er wordt ruim twee hectare maïsland verruïlt voor grasland. Ook het stikstofniveau stijgt als gevolg van de verandering in rantsoen, er worden meer hectares op een stikstofniveau van 300 kilogram per hectare geteeld. Er is minder krachtvoer nodig omdat de stalperiode met één maand verkort wordt. Omdat er meer mestaanvoer is wordt er minder stikstofkunstmest aangekocht. De fosfaatbemesting wordt teruggebracht naar 7 kg per hectare in plaats van 18 kg per hectare grasland.

De resultaten van de wereldwijde effecten zijn op alle gebieden vergelijkbaar met die in de basissituatie. Omdat vooral prijsverandering een rol speelt zullen de verschillen zichtbaar worden bij de economische resultaten in tabel 4.9.

De rantsoenen bij een combinatie van lokale en wereldwijde effecten zijn vergelijkbaar met die in de lokale situatie. Doordat de hoge verkoopprijs van snijmaïs nu meespeelt wordt er minder gras geteeld en 0,6 hectare maïs verkocht. Hierdoor stijgt het stikstofniveau van het grasland en de aankoop van kunstmest ten opzichte van de lokale situatie.

Tabel 4.7 De technische resultaten van het extensieve uitgangsbetrijf met gematigde effecten van klimaatverandering

	Basissituatie	Lokaal	Wereldwijd	Combinatie
Rantsoen kg ds/koe/dag stalperiode				
- gras	2,6	5,8	2,6	5,8
- snijmaïs	6,2	3,5	6,2	3,5
- krachtvoer tot	8,0	7,2	8,0	7,2
* standaard	5,3	6,6	5,3	6,6
* matig eiwitrijk	0	0	0	0
* zeer eiwitrijk	2,7	0,6	2,7	0,6
- beperking (V,C,D,O, S ¹)	V, O	V, D, C	V, O	V, D, C
Rantsoen kg ds/koe/dag weideperiode				
- gras	13,4	12,3	13,4	12,3
- snijmaïs	4,2	4,0	4,2	4,0
- krachtvoer tot	1,7	2,9	1,7	2,9
* standaard	1,7	2,9	1,7	2,9
* matig eiwitrijk	-	-	-	-
* zeer eiwitrijk	-	-	-	-
- beperking (V,C,D,O, S ¹)	V, C	V, C	V, C	V, C
Oppervlakte				
- gras	46,9	49,2	46,9	48,6
- snijmaïs	19,7	17,8	19,7	17,8
- snijmaïs verkoop	0,4	-	0,4	0,6
N niveau grasland	212	228	212	234
Voeraankoop (1000 KVEM)				
- snijmaïs	-	-	-	-
- krachtvoer	175,2	172,5	175,2	172,5
Kunstmest aankoop (kg)				
- N	4987	5708	4987	5929
- P2O5	-	340	-	389

¹V=VEM, C=Droge stof opname capaciteit, D=DVE, O=OEB en S=Structuur

In tabel 4.8 worden de milieutechnische gegevens weergegeven. In alle gevallen wordt derogatie toegepast en wordt mest aangevoerd. Deze aanvoer wordt beperkt door de gebruiksnorm dierlijke mest.

Tabel 4.8 De milieutechnische resultaten van het extensieve uitgangsbetrijf met gematigde effecten

	Basissituatie	Lokaal	Wereldwijd	Combinatie
Beperking Gebruiksnormen ²	250	250	250	250
Mestafvoer (m3)	0	0	0	0
Mestaanvoer (m3)	635	595	635	595
N-overschot kg per ha	133	130	133	133
P2O5 overschot kg per ha	6	6	6	7

²D=Derogatie 250=gebruiksnorm dierlijke mest

De belangrijkste economische resultaten worden in tabel 4.9 weergegeven. Het saldo in de basissituatie is €140.574. De arbeidsopbrengst is €24.383.

Tabel 4.9 De economische resultaten van het extensieve uitgangsbetrijf met gematigde effecten van klimaatverandering

	Basissituatie	Lokaal	Wereldwijd	Combinatie
Totale opbrengsten	272119	271800	272173	272231
Variabele kosten				
- Kosten ruwvoervoorziening	38446	40027	38446	40326
- Kosten aangekocht ruwvoer	-	-	-	-
- Kosten krachtvoer totaal	30640	28315	34215	31628
- Kosten meststoffen				
* N	3590	4109	3590	4288
* P2O5	-	187	-	218
- Kosten mestafvoer	-	-	-	-
- Kosten variabele arbeid	14155	15913	14155	15886
- Overige variabele kosten	44714	44352	44714	44302
Totaal	131545	132903	135120	136648
Saldo	140574	138897	137053	135583
Totale vaste kosten	116191	115610	116191	115610
Arbeidsopbrengst	24383	23287	20862	19973
Schaduwprijs				
* Grond (per ha)	93	102	235	213
* Melkquotum (per 1000kg)	117	123	100	101

Als gevolg van de lokale effecten dalen de totale opbrengsten omdat er geen snijmaïs verkocht wordt. Ook blijkt dat de kosten van ruwvoervoorziening toenemen ondanks dat de dure maïs verruïlt wordt voor gras. Dit wordt veroorzaakt doordat de grasproductie toeneemt en dus ook de kosten voor maaien en inkuilen per hectare stijgen. De kosten van krachtvoer aankoop nemen af. De kosten van kunstmeststofaanvoer stijgen door het verhoogde stikstofniveau van grasland. De kosten voor variabele arbeid nemen toe. De overige variabele kosten dalen enigszins omdat er minder mest geïnjecteerd wordt. De vaste kosten dalen omdat er minder mestopslag nodig is. Dit alles resulteert in een lagere arbeidsopbrengst van €23.287.

Bij de wereldwijde effecten zijn de totale opbrengsten hoger doordat de verkoopprijs van de 0,4 hectare snijmaïs is gestegen als gevolg van de veranderingen op de wereldmarkt. De hogere variabele kosten zijn verklaarbaar door de stijging van de krachtvoerprijs. De arbeidsopbrengst daalt uiteindelijk met 14%.

Bij een combinatie van effecten stijgt de opbrengst omdat er 0,2 hectare maïs meer verkocht wordt. Door de toegenomen aantal hectares grasland maar ook door de hogere kosten voor maaien en inkuilen per hectare stijgen de kosten van ruwvoervoorziening. De prijsstijging van krachtvoer zorgt voor een stijging van de krachtvoerkosten. Ook de kosten van aangekochte meststoffen en variabele

arbeid stijgen door de grasproductie met verhoogd stikstofniveau. De totale variabele kosten stijgen met €3.575. De arbeidsopbrengst is 18% lager dan in de basissituatie.

De schaduwprijs van grond is het hoogst bij de wereldwijde effecten. In deze situatie is de verkoopprijs van snijmaïs hoog en de opbrengst van een hectare snijmaïs onveranderd. De schaduwprijs van melkquotum is het hoogst bij de lokale effecten omdat in dit geval de productiekosten het laagst zijn.

4.2.2 Extreem scenario

In tabel 4.10 zijn de belangrijkste technische resultaten van het extensieve uitgangsbetrijf met een extreem scenario weergegeven. Na de invoering van de lokale effecten vindt er een flinke verandering plaats in de verhouding tussen snijmaïs en gras in het stalrantsoen. Doordat er meer gras in het rantsoen is opgenomen daalt de hoeveelheid zeer eiwitrijk krachtvoer. OEB is niet meer beperkend in het stalrantsoen maar naast VEM zijn nu ook DVE en de droge stof opname capaciteit van de koe beperkend. In het weiderantsoen daalt het aandeel ruwvoer en neemt de krachtvoergift met meer dan een kilo toe. Dit zijn, net als bij het matige scenario, gevolgen van het verlengde weideseizoen en de verandering van voederbehoefte. Ook het bouwplan verandert hierdoor. Doordat de koeien langer buiten lopen wordt het aandeel grasland vergroot en het stikstofniveau verhoogd. Omdat de maïsgift in de stalperiode daalt en de koeien minder op stal staan wordt 2,6 hectare snijmaïs verkocht. De krachtvoeraankoop neemt in totaal iets af. Door het verhoogde stikstofniveau van gras wordt er meer kunstmest aangekocht.

Als gevolg van de wereldwijde effecten neemt in het stalrantsoen het aandeel ruwvoer, vooral gras, toe en de hoeveelheid krachtvoer af. De krachtvoerafname wordt vooral zichtbaar in de hoeveelheid zeer eiwitrijk krachtvoer. De beperkende factoren van het stalrantsoen zijn VEM en DVE. In het weiderantsoen neemt de hoeveelheid krachtvoer af. Alle maïs is nodig om aan de koeien te voeren, er wordt geen snijmaïs meer verkocht. Omdat het teeltplan zo goed als gelijk blijft maar er meer gras nodig is stijgt het stikstofniveau van het grasland. Hierdoor wordt ook per hectare grasland meer stikstof en fosfaat kunstmest gestrooid, er moet dus meer kunstmest worden aangekocht.

Bij de combinatie van effecten zijn de resultaten vergelijkbaar met die van de lokale effecten. Als gevolg van de hoge verkoopprijs van maïs wordt er meer snijmaïs verkocht. Het stikstofniveau van grasland stijgt om de extra grasproductie mogelijk te maken.

Tabel 4.10 De technische resultaten van het extensieve uitgangsbetrijf met extreme effecten van klimaatverandering

	Basissituatie	Lokaal	Wereldwijd	Combinatie
Rantsoen kg ds/koe/dag stalperiode				
- gras	2,6	6,7	4,2	6,7
- snijmaïs	6,2	2,3	6,4	2,3
- krachtvoer tot	8,0	7	6,2	7
* standaard	5,3	6,9	4,6	6,9
* matig eiwitrijk	0	0	0	0
* zeer eiwitrijk	2,7	0,1	1,6	0,1
- beperking (V,C,D,O, S ¹)	V, O	V, D, C	V, D	V, D, C
Rantsoen kg ds/koe/dag weideperiode				
- gras	13,4	12,1	13,5	12,2
- snijmaïs	4,2	4	4,2	4
- krachtvoer tot	1,7	3,0	1,4	2,9
* standaard	1,7	3,0	1,4	2,9
* matig eiwitrijk	-	-	-	-
* zeer eiwitrijk	-	-	-	-
- beperking (V,C,D,O, S ¹)	V, C	V, C	V, C	V, C
Oppervlakte				
- gras	46,9	48,9	46,9	47,4
- snijmaïs	19,7	15,5	20,1	15,6
- snijmaïs verkoop	0,4	2,6	-	4,0
N niveau grasland	212	230	280	245
Voeraankoop (1000 KVEM)				
- snijmaïs	-	-	-	-
- krachtvoer	175,2	160,0	140,7	157,9
Kunstmest aankoop (kg)				
- N	4987	5513	8252	6096
- P2O5	-	696	363	845

¹V=VEM, C=Droge stof opname capaciteit, D=DVE, O=OEB en S=Structuur

In tabel 4.11 staan de milieutechnische resultaten. In alle gevallen wordt derogatie toegepast en wordt mest aangevoerd. Deze aanvoer wordt beperkt door de gebruiksnorm dierlijke mest. Bij de lokale en gecombineerde effecten is de fosfaatgebruiksnorm ook beperkend.

Tabel 4.11 De milieutechnische resultaten van het extensieve uitgangsbetrijf met extreme effecten van klimaatverandering

	Basissituatie	Lokaal	Wereldwijd	Combinatie
Beperking Gebruiksnormen ²	250	250, P	250	250, P
Mestafvoer (m3)	0	0	0	0
Mestaanvoer (m3)	635	548	520	461
N-overschot kg per ha	133	115	164	120
P2O5 overschot kg per ha	6	7	4	8

²P=FosfaatGebruiksnorm, 250=gebruiksnorm dierlijke mest

In tabel 4.12 worden de economische resultaten weergegeven. Na berekening van de lokale effecten blijkt de arbeidsopbrengst met 26% te stijgen. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door de toegenomen opbrengsten door maïsverkoop en de afgenomen krachtvoerkosten. Omdat de kosten van maïsproductie per hectare hoger zijn dan die van grasproductie nemen de kosten van ruwvoervoorziening als gevolg van de verandering in het bouwplan af. Dit is een kleine afname omdat de kosten voor maaien en inkuilen stijgen als gevolg van de productietoename van gras.

Omdat bij de wereldwijde effecten geen maïs verkocht wordt dalen de opbrengsten. Omdat het aandeel gras in het stalrantsoen toeneemt is er een hogere grasproductie per hectare nodig. Grasteelt vindt dan ook plaats op een stikstofniveau van 280 kilo per hectare. De kosten van maaien, inkuilen en kunstmest nemen als gevolg hiervan ook toe. Behalve de kosten voor ruwvoervoorziening nemen ook de kosten van krachtvoer toe als gevolg van de stijgende wereldmarktprijzen van grondstoffen. Hierdoor komen de variabele kosten bijna €19.000 hoger uit dan in de basissituatie. De arbeidsopbrengst is dan ook 79% lager dan in de basissituatie.

Bij de gecombineerde effecten nemen de totale opbrengsten met €4482 toe als gevolg van de verkoop van vier hectare maïs en de gestegen verkoopprijs. De stijging van de totale variabele kosten is vooral te wijten aan de gestegen krachtvoerprijzen. De totale arbeidsopbrengst is 40% lager dan in de basissituatie.

De schaduwprijs voor grond is het hoogst bij de gecombineerde effecten. Meer grond betekent meer maïsproductie voor de verkoop en dus hogere opbrengsten. De schaduwprijs voor melkquotum blijft het hoogst bij de lokale effecten. De productiekosten van een kilo melk zijn in dit geval het laagst.

Tabel 4.12 De economische resultaten van het extensieve uitgangsbetrijf met extreme effecten van klimaatverandering

	Basissituatie	Lokaal	Wereldwijd	Combinatie
Totale opbrengsten	272119	273506	271800	276601
Variabele kosten				
- Kosten ruwvoervoorziening	38446	38085	42204	38820
- Kosten aangekocht ruwvoer	-	-	-	-
- Kosten krachtvoer totaal	30640	26074	41512	43928
- Kosten meststoffen				
* N	3590	3970	5941	4407
* P2O5	-	383	200	464
- Kosten mestafvoer	-	-	-	-
- Kosten variabele arbeid	14155	15430	15763	15395
- Overige variabele kosten	44714	43770	44807	43800
Totaal	131545	127712	150427	146814
Saldo	140574	145794	121373	129787
Totale vaste kosten	116191	115046	116191	115046
Arbeidsopbrengst	24383	30748	5182	14741
Schaduwprijs				
* Grond (per ha)	93	102	621	688
* Melkquotum (per 1000kg)	117	123	48	53

4.2.3 Vergelijking matige en extreme variant bij de extensieve uitgangssituatie

Bij zowel de gematigde als de extreme lokale effecten worden de rantsoenen beïnvloed. De hoeveelheid gras neemt toe en de hoeveel snijmaïs neemt af. Bij de extreme effecten wordt een groter deel van de snijmaïs vervangen door gras en kan er snijmaïs worden verkocht. Bij de gematigde wereldwijde effecten neemt de hoeveelheid krachtvoer niet af, bij de extreme wereldwijde effecten stijgt de krachtvoerprijs zo sterk dat de krachtvoergift met bijna twee kilo afneemt. Bij zowel de gematigde als de extreme gecombineerde effecten zijn de technische resultaten vergelijkbaar met die van de lokale effecten.

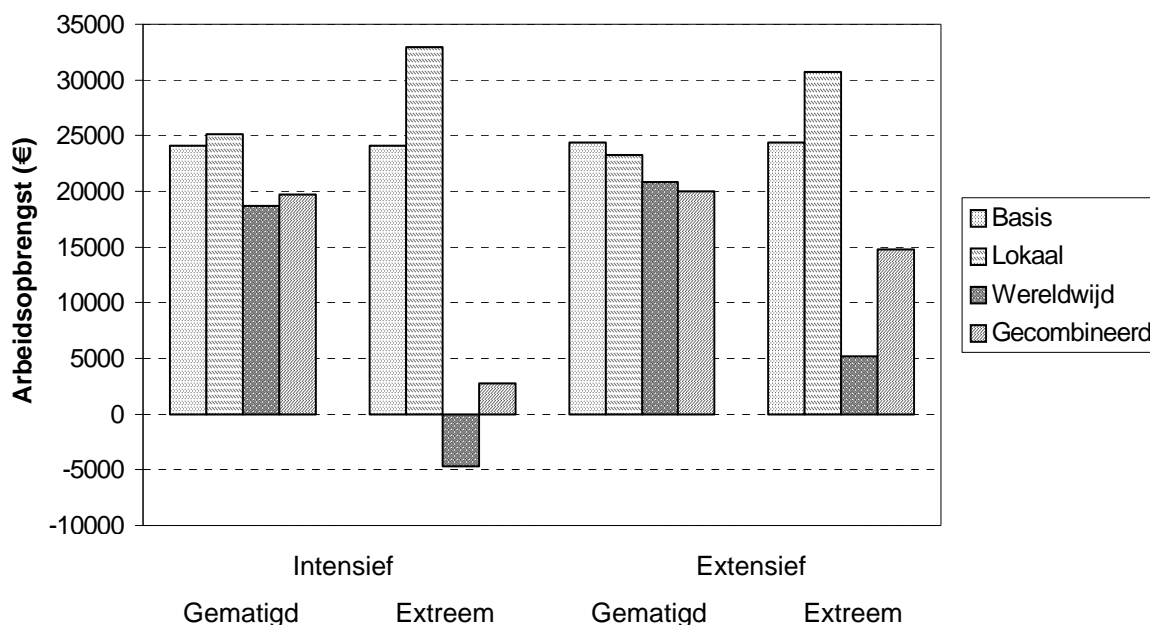
Derogatie is zowel bij de matige als de extreme wereldwijde effecten beperkend. Als gevolg hier van kan er respectievelijk weinig en geen snijmaïs verkocht worden. Bij de lokale en gecombineerde effecten is bij de extreme variant niet alleen de gebruiksnorm dierlijke mest maar ook de fosfaatgebruiksnorm beperkend. Bij zowel de gematigde als extreme lokale effecten neemt de arbeidsopbrengst toe. Deze toename is groter bij de extreme variant. Ook de daling als gevolg van de extreme wereldwijde en gecombineerde effecten is groter bij de extreme variant. In beide gevallen is de daling van arbeidsopbrengst bij de wereldwijde gevolgen het grootst.

4.3 Vergelijking intensief en extensief

Het intensieve uitgangsbetrijf lijkt over het algemeen minder goed bestand tegen de lokale en wereldwijde effecten als gevolg van de klimaatverandering. Omdat het bedrijf minder grondoppervlak heeft is het minder zelfvoorzienend dan het extensieve uitgangsbetrijf. Hierdoor is het intensieve bedrijf ook beperkter in de mogelijkheid om het rantsoen te veranderen. Het extensieve bedrijf heeft voordeel van het groter grondoppervlak omdat het geen ruwvoer hoeft aan te kopen, in sommige gevallen kunnen er zelfs extra inkomsten gegenereerd worden door de verkoop van snijmaïs. Ook hoeft het extensieve bedrijf geen mest af te voeren.

In figuur 4.1 worden de economische resultaten van het intensieve en extensieve uitgangsbetrijf onderling vergeleken.

Figuur 4.1 Overzicht van de arbeidsopbrengst van het intensieve en extensieve uitgangsbetrijf bij de verschillende klimaatveranderingseffecten



In de economische resultaten worden de voordelen van het extensieve bedrijf vooral duidelijk in de arbeidsopbrengst van de wereldwijde en gecombineerde effecten. De afname van de arbeidsopbrengst als gevolg van deze effecten is op het extensieve bedrijf procentueel gezien lager dan op het intensieve bedrijf. Waar de arbeidsopbrengst op het intensieve bedrijf bij de extreme wereldwijde effecten negatief wordt blijft deze op het extensieve bedrijf ruimschoots boven nul. Daartegenover staat dat de toename van arbeidsopbrengst als gevolg van de lokale effecten op het intensieve bedrijf procentueel hoger is.

In dit hoofdstuk worden eerst de uitgangspunten en resultaten bediscussieerd en vervolgens conclusies getrokken. Tenslotte worden enkele aanbevelingen voor verder onderzoek gedaan.

5.2 Discussie

In deze paragraaf zullen enkele discussiepunten besproken worden aangaande de uitgangspunten, de resultaten en andere onderzoeken. De geldigheid van het LP model en de uitgangspunten worden besproken. Vervolgens worden de resultaten geïnterpreteerd. Tot slot worden de resultaten van dit onderzoek vergeleken met die van vergelijkbaar onderzoek.

5.1.1 *Uitgangspunten*

Allereerst wordt het gebruik van het LP model besproken. In het model zijn normatieve waarden opgenomen voor kosten, voedingsbehoefte en ruwvoerproductie. Omdat in de werkelijkheid deze waarden nogal eens niet gehaald worden zijn de door het model gebruikte gegevens normatief van aard. Ook de methode van lineaire programmering heeft een normatief karakter. De normen in het model worden in de werkelijkheid soms niet gehaald door fouten in de bedrijfsvoering en door risicomijding. Het is dan ook minder zinvol om de resultaten in de absolute zin te bekijken. Het is veel relevanter om naar de verschillen tussen de verschillende bedrijfstypen en klimaatveranderingseffecten te kijken.

Bij de lokale klimaatveranderingseffecten is een aanname gedaan over de toename van grasproductie per stikstofniveau. Er is aangenomen dat de toename in grasproductie groter wordt naarmate de stikstofgift toeneemt. Dit had anders gekund door de gehele grasgroei-curve te verschuiven. Op elke stikstofniveau zou de grasproductie dan met 25% of 50% toenemen afhankelijk van de gebruikte variant. In dit geval zou er meer gras geproduceerd worden op de lagere niveaus en is er minder aanvoer van meststoffen nodig. Dit heeft positieve gevolgen voor de arbeidsopbrengst omdat de variabele kosten van meststoffen dan afnemen.

Een ander punt van discussie met betrekking tot voederteelt is de mogelijke invloed van vernatting tijdens inkuilen van gras en gewasziektes bij maïs. De gevolgen van deze effecten zijn moeilijk te kwantificeren en daarom niet opgenomen in het model. Omdat de oogstperiode vervroegd, is er tijdens het inkuilen meer kans op regen. Het wordt voor de veehouders moeilijker om gras tijdens een droge periode in te kuilen. Dit kan de kwaliteit van het gras verslechteren doordat het nat wordt. Gewasziektes zoals bladschimmel kunnen de maïs oogst doen afnemen. Maar mogelijk verdwijnen ook andere ziektes omdat Nederland door de klimaatverandering een minder geschikt gebied wordt. Beide effecten hadden in het model opgenomen kunnen worden door de gewasopbrengst van gras en maïs te verminderen met een aangenomen waarde. Consequenties hiervan zouden zijn; een lagere arbeidsopbrengst bij de lokale en gecombineerde effecten op zowel het intensieve en extensieve bedrijf.

Omdat als gevolg van de lokale effecten de opbrengst in KVEM per hectare snijmaïs afneemt en de kosten per hectare gelijk blijven is er aangenomen dat de aankoopprijs per KVEM snijmaïs stijgt. Een ander alternatief is dat snijmaïs als voedergewas onaantrekkelijk wordt en wordt vervangen door een ander gewas. Dit heeft positieve gevolgen voor de arbeidsopbrengst op het intensieve bedrijf. Op het extensieve bedrijf wordt maïs verkocht en dit zorgt voor extra inkomsten. Waarschijnlijk zal er dan in plaats van maïs een ander gewas voor de verkoop geteeld worden waardoor de inkomsten behouden blijven.

Als gevolg van het verlengde groeiseizoen is ook het weideseizoen verlengd. Er is een aanname gedaan van een verlenging van één maand bij de gematigde variant en twee maanden bij de extreme variant. De verlenging had zowel korter als langer kunnen zijn. Bij een kortere verlenging zou in alle gevallen de vaste kosten voor mestopslag in mindere mate afnemen. Ook zouden de kosten voor voederwinning minder afnemen. De gevolgen voor de arbeidsopbrengst zijn in dit geval negatief. Bij een verdere verlenging van het weideseizoen zal het omgekeerde plaatsvinden en de arbeidsopbrengst toenemen.

In de literatuur werd een voorspelling gedaan van de stijging van de wereldmarktprijzen voor graan en maïs tussen 2004 en 2014. Er is toen aangenomen dat deze prijzen in gelijke mate doorstijgen tot 2050. Een andere mogelijkheid is om te rekenen met de prijzen van 2014 omdat deze door het OESO bepaalt zijn. De economische resultaten van de wereldwijde en gecombineerde effecten zullen dan sterk verbeteren.

De prijs van alle soorten krachtvoer is gebaseerd op de wereldmarktprijs van graan. Dit is een aanname omdat krachtvoer uit meerdere grondstoffen bestaat met allemaal een andere prijsontwikkeling. Een alternatieve methode is om van elke grondstof een prijsvoorspelling voor 2050 te doen en dan met behulp van verhoudingen de krachtvoerprijs te bepalen. De invloed op de resultaten hiervan is moeilijk te voorspellen. Deze zullen in ieder geval betrouwbaarder worden omdat een voorspelling per grondstof nauwkeuriger is dan een voorspelling alleen gebaseerd op de tarweprijs.

De effecten van klimaatverandering op diergezondheid, reproductie en de verspreiding van ziektes en plagen zijn niet opgenomen in het model. Al deze effecten zijn moeilijk te kwantificeren omdat er nog onvoldoende onderzoek is gedaan naar de gevolgen voor de Nederlandse melkveehouderij. Wat wel bekend is dat deze effecten deels te verminderen zijn door adaptatie. Hittestress kan bijvoorbeeld tegengegaan worden door ventilatoren, schaduw en voldoende drinkwater. Tegen opkomende dierziektes zoals blauwtong kan gevaccineerd worden. Dit alles brengt wel extra kosten met zich mee en er kan met enige zekerheid gezegd worden dat dit negatieve gevolgen heeft voor de arbeidsopbrengst.

5.1.2 Resultaten

De resultaten geven een beeld van een gemiddeld melkveebedrijf in Nederland uit begin 20^e eeuw met waarden voor gewasgroei en prijzen voor 2050. Dit is niet erg realistisch aangezien er in de toekomst ontwikkelingen zullen plaatsvinden die bijvoorbeeld de melkproductie verhogen of bepaalde voedergewassen vervangen. Omdat het heel moeilijk is om een voorspelling te doen van het

gemiddelde melkveebedrijf in 2050 is er toch met het huidige Nederlandse melkveebedrijf gerekend. Dit alles maakt dat de resultaten alleen bruikbaar zijn om de gevolgen van klimaatverandering op de huidige Nederlandse melkveehouderij weer te geven.

De interpretatie van de resultaten blijft gelijk als de bedrijfsgrootte toeneemt. Bij een bedrijf met 1,6 miljoen quotum zullen de resultaten verdubbelen. Als de intensiteit verandert en daarmee de mate van zelfvoorziening van het bedrijf zullen de resultaten wel veranderen. Zoals blijkt is een extensiever bedrijf beter bestand tegen klimaatverandering. Als de intensiteit groter wordt zullen de resultaten slechter uitvallen. Als in plaats van beperkt weiden zomerstalvoeding toegepast zou worden zouden de positieve effecten van de verlengde weideperiode teniet worden gedaan.

5.1.3 Vergelijkbaar onderzoek

Onderzoeken waarin ook naar de invloed van klimaatverandering op landbouw en/ of veeteelt gekeken is, zijn die van Adams et. al. (1995), Kurukulasuriya, et.al.(2006), Kettunen (1996) en Chang (2002).

Onderzoek van Adams et.al. (1995) had als doel de economische gevolgen van lange termijn klimaatverandering vast te stellen voor de landbouw in de V.S. Er werd vooral gekeken naar de directe klimaatveranderingseffecten zoals veranderingen in gewasgroei. Uit het onderzoek blijkt dat een matige opwarming in agrarische productiegebieden in de V.S. in twee van de drie gevallen een positieve invloed heeft op de economische resultaten. Deze conclusie komt overeen met de in dit onderzoek gevonden economische resultaten bij lokale klimaatveranderingseffecten.

In de studie van Kurukulasuriya et.al.(2006) werden boerderijgegevens gebruikt om te bekijken hoe de huidige lokale klimaatveranderingseffecten de boeren in Afrika beïnvloedde. De resultaten van deze studie laten zien dat Afrika hard getroffen wordt door de hevige klimaatverandering scenario's. Deze resultaten zijn niet vergelijkbaar met die uit deze studie. Dit is grotendeels verklaarbaar doordat het huidige klimaat in Afrika al zeer droog en warm is in tegenstelling tot dat in Nederland.

Het onderzoek van Kettunen (1996) had als doel om de mogelijke economische effecten van lokale klimaatverandering op de Finse landbouw te evalueren. De wereldwijde effecten werden meegenomen in zoverre dat prijsveranderingen op de wereldmarkt als direct gevolg van klimaatverandering werden onderzocht en meegenomen. Indirecte gevolgen door de opkomst van energiegewassen werden niet meegenomen. De gebruikte modelberekeningen lieten een inkomen toename zien van 42% op een akkerbouwbedrijf en van 3,2% op een melkveebedrijf. Dit resultaat is vergelijkbaar met het resultaat voor de lokale effecten uit het LP model.

De studie van Chang (2002) evalueerde de potentiële impact van klimaatverandering op de agrarische sector in een economie die deels ligt in tropisch gebied, Taiwan. Een Taiwanees landbouwsectormodel werd gebruikt om de impact van gewasoogst verandering op agrarische productie, landgebruik, welzijnsspreiding en de mogelijkheden voor landbouw om zich aan te passen aan de klimaatverandering te evalueren. Uit de resultaten blijkt dat een temperatuurstijging een

positieve invloed heeft op gewasoogst. Ook nu weer zijn de resultaten in grote lijnen vergelijkbaar met die van de lokale klimaatverandering effecten uit dit onderzoek.

5.2 Conclusies

Hieronder worden puntsgewijs de belangrijkste conclusies weergegeven:

- 1) De wereldwijde klimaatverandering grijpt op twee manieren in op de Nederlandse melkveehouderij. Allereerst veranderen de groeiomstandigheden in negatieve zin voor snijmaïs en in positieve zin voor gras, hierdoor wordt ook het weideseizoen langer (lokale effecten). Op wereldschaal daalt de productie van veevoedergrondstoffen met als gevolg een prijsstijging van krachtvoer en snijmaïs (wereldwijde effecten).
- 2) De lokale effecten leiden op een intensief bedrijf tot een stijging van de arbeidsopbrengst met 4 tot 36% voor een matige, respectievelijk extreme ontwikkeling van de klimaatverandering. Op een extensief bedrijf leiden de lokale effecten tot een daling van de arbeidsopbrengst van 4% bij de gematigde ontwikkeling en een stijging van 26% bij de extreme ontwikkeling.
- 3) De wereldwijde effecten leiden op een intensief bedrijf tot een daling van de arbeidsopbrengst met 22% voor de matige ontwikkeling van de klimaatverandering. Bij de extreme ontwikkeling worden er minder melkkoeien gehouden om de kosten te drukken. Desondanks is de arbeidsopbrengst negatief. Op een extensief bedrijf leiden de lokale effecten tot een daling van de arbeidsopbrengst van 14 tot 79% voor een matige, respectievelijk extreme ontwikkeling.
- 4) Bij de gecombineerde effecten worden de negatieve gevolgen van de wereldwijde effecten gecompenseerd door de overwegend positieve gevolgen van de lokale effecten. Op een intensief bedrijf leiden deze effecten tot een daling van de arbeidsopbrengst van 18 tot 89% voor een matige, respectievelijk extreme ontwikkeling. Bij de extreme ontwikkeling werden wederom minder melkkoeien gehouden. Op een extensief bedrijf leiden deze effecten tot een daling van de arbeidsopbrengst van 18 tot 40% voor een matige, respectievelijk extreme ontwikkeling.
- 5) Over het algemeen zijn de extensieve bedrijven beter bestand tegen de klimaatverandering dan de intensieve bedrijven. Het extensieve bedrijf heeft voordeel van het groter grondoppervlak waardoor het geen ruwvoer hoeft aan te kopen, in de meeste gevallen kunnen er nog extra opbrengsten gegenereerd worden door de verkoop van snijmaïs. Ook hoeft het extensieve bedrijf geen mest af te voeren.
- 6) Maïs wordt als gevolg van zowel de lokale als de wereldwijde effecten een economisch onaantrekkelijk voedergewas. Doordat de gewasopbrengst afneemt worden de productiekosten per KVEM hoger en stijgt de aankoop prijs van snijmaïs. Door de opkomst van duurzame energiebronnen krijgt maïs een functie als energiegewas en ook dit heeft een prijsverhogend effect.

5.3 Aanbevelingen

In dit onderzoek is alleen gekeken naar de effecten van klimaatverandering op het huidige Nederlandse melkveebedrijf. Aan de hand van deze studie zou er een vervolgonderzoek gestart kunnen worden naar de adaptatiemogelijkheden van de melkveebedrijven. Er zou onder andere onderzocht kunnen worden of maïs als voedergewas te vervangen is door een gewas dat een hogere gewasopbrengst heeft bij het 'nieuwe' klimaat. Ook zou onderzocht kunnen worden in hoeverre een bedrijf zelfvoorzienend kan worden wat betreft krachtvoerverzorging met het oog op de stijgende krachtvoerprijzen. Een mogelijkheid daarvoor is het zelf produceren van grasbrok ook gezien de stijgende grasproductie. Hierdoor is het melkveebedrijf in mindere mate afhankelijk van de wereldmarktprijzen wat betreft de aankoop van ruw- en krachtvoer.

Referenties

- Adams, R.M., Fleming, R.A., Chang, C.C., McCarl, B.A., Rosenzweig, C., 1995. A reassessment of the economic effects of global climate change on U.S. agriculture. *Climate Change* 30, 147-167.
- AgriHolland, 2007, Dossier Blauwtong/ Bluetongue, <http://www.agriholland.nl/dossiers/blauwtong/home.html>
- Boerderij, 2007, <http://www.boerderij.nl/Veehouderij/Blauwtong/Schade-blauwtong-10-15-miljoen-in-2006.htm>
- Chang, C.C., 2001, The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture. *Agricultural Economics* 27, 51-64.
- CLM, 2007, <http://www.clm.nl/artikelen/klimaatvriendelijk.html>
- Cooper, G., Malcolm, B. and McGechan, 1995, Implications of an altered climate for forage conservation. *Agricultural and Forest Meteorology* 79, 253-269.
- Dhakhwa, B., Campbell, C.L., LeDuc, S.K., Cooter, E.J., 1997, Maize growth: assessing the effects of global warming and CO₂ fertilization with crop models. *Agricultural and Forest Meteorology* 87, 253-272.
- FAO, 2006, Livestock's long shadow, environmental issues and options.
- Frazzi, E., Calamari, L., Calegari, F., 2003, Assessment of a thermal comfort index to estimate the reduction of milk production caused by heat stress in dairy cow herds.
- GD, 2007, Bluetongue, <http://www.gddeventer.com/rund>
- Gubler, D.J., Reiter, P., Ebi, K.L., Yap, W., Nasci, R., Patz, J. A., 2001, Climate variability and change in the us potential impacts on vector and rodent borne diseases. *Environmental health perspectives* 109, 223.
- Hoogendam, K., 2007, International study on the economic consequences of outbreaks of bluetongue serotype 8 in North-Western Europe.
- Horst ter, M., 2007, Zenuwen op de voermarkt. *Boerderij oktober* 2, 6-7.
- IPCC, 2007, 4th Assessment Report - Working Group II Report "Impacts, Adaptation and vulnerability".
- Jones, M.B., Jongen, M., Doyle, T., 1995, Effects of elevated carbon dioxide concentrations on agricultural grassland production. *Agricultural and Forest Meteorology* 79, 243-252.

- Kettunen, L., 1996, Potential economic effects of climate change on Finnish agriculture. Agricultural and food science in Finland 5, 377-385.
- Knaap van der, J., 2007. Sneller actie bij hittestress. Veeteelt juni
- KNMI, 2006, Klimaat in de 21^e eeuw, vier scenario's voor Nederland.
- KNMI, 2007, Dossier Klimaatverandering, http://www.knmi.nl/klimaatverandering_en_broeikaseffect
- Kurukulasuriya, P., Mendelsohn, R., Hassan, R., Benhin, J., Deressa, T., Diop, M., Eid, H.M., Fosu, K.Y., Gbetibouo, G., Jain, S., Mahamadou, A., Mano, R., Kabubo-Mariara, J., El-Marsafawy, S., Molua, E., Ouda, S., Ouedraogo, M., Se'ne, I., Maddison, D., Seo, S.N. en Dinar, A, 2006, Will African Agriculture Survive Climate Change. The world bank economic review 20, 367-388.
- Lampe, 2006, Agricultural market impacts of future growth in the production of biofuels. Organisation de Coopération et de Développement Economiques
Organisation for Economic Co-operation and Development
- Maisadvies.nl, 2007, http://home.hetnet.nl/~rob.selst/index_bestanden/Page3014.htm
- Mera, R.J., Niyogi, D., Buol, G.S., Gail, G., Wilkerson, Semazzi, F.H.M., 2006, Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C₃) and maize (C₄) crops: An agrotechnology model based study. Global and Planetary Change 54, 163-182.
- Milieucentraal, 2007, Biobrandstof, <http://www.milieucentraal.nl/pagina?onderwerp=Biobrandstof%20voor%20vervoermiddelen>
- Milieucompendium, 2007, Productie van duurzame energie, <http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0385-Productie-van-duurzame-energie.html?i=16-37>
- Nationaal Onderzoeksprogramma Klimaat voor Ruimte (KvR), Leven met Water (LmW), Habiforum en CURNET, 2006, Naar een klimaatbestendig Nederland, samenvatting routeplanner.
- Olesen, J.E., Bindi, M., 2002, Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy, European Journal of Agronomy 16, 239-262.

- Ouweltjes, W., Dooren van, H.J.C., Ruis-Heutinck, L.F.M., Dijk, G.J., Meijering, A., 2003, Huisvesting van melkvee: knelpunten uit oogpunt van welzijn. PraktijkRapport Rundvee 21.
- PCCC, 2007, Het IPCC rapport en de betekenis voor Nederland.
- Purse, B.V., Mellor, P.S., Rogers, D.J., Samuel, A.R., Mertens, P.P.C., Baylis, M., 2005, Climate change and the recent emergence of bluetongue in Europe. Nature reviews 3, 171-180.
- PV OESO, Permanente Vertegenwoordiging van Nederland bij de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling, 2007
http://www.mfa.nl/pvoeso/landbouw/biomassa_en_landbouw
- Rötter, R., Geijn van de, S.C., 1999, Climate change effects on plant growth, crop yield and livestock. Climatic change 43, 651-681.
- Rounsevell, M.P.A., Brignall, A.P., Siddons, P.A., 1996. Potential climate change effects on the distribution of agricultural grassland in England and Wales. Soil use and management 12, 44-51.
- Schapendonk, A.H.C.M., Stol, W., Wijnands, J.H.M., Bunte, F., Hoogeveen, M.W., 1998, Effecten van klimaatverandering op de fysieke en economische opbrengst van een aantal landbouwgewassen. ad-dlo rapportnr: 410-200 016 (1998)
- Southworth, J., Pfeifer, R.A., Habeck, M., Randolph, J.C., Doering, O.C., Johnston, J.J. and Rao, D.G., 2002. Changes in soybean yields in midwestern united states as a result of future changes in climate, climate variability and CO₂ fertilization. Climatic Change 53, 447-475.
- Steeghs, J., Tielemans, C., 2000, Reader Bodem-Plant HAS
- Taks, R.L.M., 2005. Mogelijke voordelen voor melkveebedrijven van sturing van het melkureumgetal onder het gebruiksnormenstelsel. Wageningen universiteit, vakgroep Agrarische Bedrijfseconomie 2005.
- Torbert, H.A., Prior, S.A., Rogers, H.H., Runion, G.B., 2004. Elevated atmospheric CO₂ effects on N fertilization in grain sorghum and soybean. Field Crops Research 88, 57-67.

- Veenstra, H., Vessies, J., 2008. Mogelijke gevolgen van de afschaffing van het melkquotum voor Nederlandse melkveebedrijven. Wageningen universiteit, vakgroep Agrarische Bedrijfseconomie 2008.
- Visser, H., 2005. De significantie van klimaatverandering in Nederland Een analyse van historische en toekomstige trends (1901-2020) in het weer, weersextremen en temperatuurgerelateerde impact-variabelen. RIVM.
- VROM, 2007, <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=31218#b31224>
- VWA 2007, <http://www.vwa.nl>
- West, J.W., 2003, Effects of heat stress on production in dairy cattle. Journal of Dairy Science, 86, 2131-2144.

Bijlage

Tabel Overzicht van de veranderde variabelen als gevolg van het lokale en wereldwijde effecten

Variabele	Sheet	Cellen	Standaardwaarde	Nieuwe waarde	
				Gematigd scenario	Extreem scenario
Snijmaïsproductie (x1000 kg ds/ ha)	Gewasproducties	C118	13,78	11,58	11,58
Grasproductie (1000KVEM/ ha)	Gewasproducties	B11	7,25	7,25	7,25
		C11	9,20	9,91	10,62
		D11	10,41	11,83	13,25
		E11	11,10	13,23	15,35
		F11	11,43	14,27	17,10
Kosten snijmaïs aankoop (€/ 1000KVEM)	Prijzen en kosten	G22	138	164	164
Lengte weideperiode (dgn)	Algemeen	D38	182,5	213	243
Krachtvoerkosten (€/ 1000kg)	Prijzen en kosten	G23	145	162	248
		G24	165	184	282
		G25	190	212	325
		G26	145	162	248
		G27	169	188	289
		G28	162	181	277
		G29	182	203	311
Kosten snijmaïs aankoop (€/ 1000KVEM)	Prijzen en kosten	G22	138	149	254
Opbrengst maïs verkoop (€/ KVEM)	Prijzen en kosten	E84	0,06	0,07	0,11