

Rapport 500110004 Elke Stehfest et al.

Vleesconsumptie en klimaatbeleid



**Milieu en Natuur
Planbureau**

MNP en RPB vormen sinds april 2008 het Planbureau voor de Leefomgeving

Vleesconsumptie en klimaatbeleid

Vleesconsumptie en klimaatbeleid



Vleesconsumptie en klimaatbeleid

© Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Bilthoven, 2008

PBL-publicationnummer 500110004

E. Stehfest
A.F. Bouwman
D.P. Van Vuuren
M.G.J. Den Elzen,
B. Eickhout
M. Jeuken
M. van Oorschot
P. Kabat (WUR)

Contact

E. Stehfest
PBL-KMD
elke.stehfest@mnv.nl

Met dank aan Kees Klein Goldewijk en Marian Abels voor het opmaken van de figuren, en aan Henk Westhoek en andere collega's van het PBL voor commentaar.

U kunt de publicatie downloaden van de website www.pbl.nl of opvragen via reports@mnv.nl onder vermelding van het PBL-publicatienummer.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Planbureau voor de Leefomgeving, de titel van de publicatie en het jaartal.'

Planbureau voor de Leefomgeving
Postbus 303
3720 AH Bilthoven
T: 030 274 274 5
F: 030 274 4479
E: info@pbl.nl
www.pbl.nl

Abstract

Meat consumption and climate policy

Climate mitigation policies tend to focus on the energy sector, while the livestock sector receives little attention, although according to FAO it accounts for 18% of the greenhouse gas emissions and for 80% of the total anthropogenic land use. From a dietary perspective, new insights in the adverse health effects of beef and pork have led to a revision of recommended meat consumption. Here, the potential impact of dietary changes on achieving ambitious climate stabilization levels is explored using a set of theoretical scenarios. By using an integrated assessment model, we found global food transition to less meat, or even a complete switch to plant-based protein food, to have a dramatic effect on land use, with up to 2700 million ha of grassland and 100 million ha of cropland to be abandoned, resulting in a large carbon uptake from regrowing vegetation. Additionally, methane and nitrous oxide emission are reduced substantially. Assuming a global transition to recommended low-meat diets (and not accounting for the cost of this transition), the mitigation costs to achieve a 450 ppm CO₂-eq. stabilization target would be reduced by about 50% in 2050 compared to the reference case. Dietary changes would thus not only have a substantial impact on global land use, but can also play an important role in future climate change mitigation policies.

Key words:

greenhouse gas emissions, diet, health, climate, carbon dioxide, nitrous oxide, land use, methane, mitigation, food

Inhoud

Samenvatting 9

1 Introductie 11

2 Methodologie 13

- 2.1 Het IMAGE model 13
 - 2.1.1 Het energiesysteem 13
 - 2.1.2 Landgebruiksveranderingen 14
 - 2.1.3 Landgebruik voor veeteelt 14
 - 2.1.4 Niet-CO₂-emissies uit landbouw 14
 - 2.1.5 De koolstofcyclus 15
- 2.2 Referentiescenario 15
- 2.3 Varianten voor voedselconsumptie 16
- 2.4 Mitigatieopties en -kosten 17
- 2.5 Biodiversiteit 18

3 Resultaten 21

- 3.1 Referentiescenario 21
- 3.2 Mitigatie-inspanning zonder dieetverandering 21
- 3.3 Varianten met dieetverandering 23
- 3.4 Mitigatie-inspanning in de dieetvarianten 25
- 3.5 Biodiversiteitseffecten 27

4 Discussie 29

Literatuur 31

Samenvatting

Wereldwijd is de veeteeltsector verantwoordelijk voor een aanzienlijk deel van de broeikasgasemissies. Daarnaast staat ongeveer 80% van de mondiale landbouwgrond ten dienste van veeteelt. In deze studie is een analyse uitgevoerd van de gevolgen van verminderde vleesconsumptie voor de broeikasgasuitstoot en kosten van klimaatbeleid. Hiervoor zijn vier theoretische varianten gemaakt op basis van een projectie van de Wereldvoedselorganisatie (FAO) voor de periode 2000-2050. Deze varianten zijn uitsluitend bedoeld om in te schatten wat het mondiale effect is van vermindering of verschuiving van de consumptie van dierlijke producten op de emissie van broeikasgassen en op biodiversiteit. In deze studie is rekening gehouden met directe uitstoot door veeteelt en indirecte gevolgen voor broeikasgasemissies door veranderingen in landgebruik. Herstel van natuurlijke vegetatie heeft namelijk gevolgen voor de koolstofopname. Daarnaast leidt dit herstel over het algemeen tot grotere biodiversiteit.

Gebruikmakend van het IMAGE-model kan worden geconcludeerd dat een mondiale afname van vleesconsumptie, of zelfs een volledige overgang naar een vegetarisch dieet een behoorlijke bijdrage kan leveren aan vermindering van broeikasgasemissies. Dit komt vooral door het sterke effect op landgebruik: maximaal 2700 miljoen hectare grasland en 100 miljoen hectare akkerland kan beschikbaar komen voor andere vormen van landgebruik, bijvoorbeeld hergroei van de oorspronkelijke vegetatie of gebruik voor bio-energie. Ter vergelijking: het huidige totale landbouwareaal is ongeveer 5000 miljoen hectare.

Deze verschuivingen in landgebruik hebben forse gevolgen voor de koolstofcyclus. Het mondiale landsysteem verandert in deze analyses van een koolstofbron in het referentiescenario (met name door ontbossingen) tot een koolstof-sink in de dieetvarianten. Deze veranderingen in landgebruik hebben eveneens een positief effect voor de mondiale biodiversiteit. Afhankelijk van de consumptieveranderingen kan wereldwijd een vijfde tot een derde deel van het in 2050 te verwachten biodiversiteitsverlies worden vermeden. Deze effecten zijn relatief minder groot dan het directe effect in landgebruikverandering, omdat de grootste verschillen in dieetvarianten optreden in graslanden, en graslanden minder biodiversiteitsverlies veroorzaken dan akkerlanden. Het effect op landgebruik is waarschijnlijk overschat, omdat de verminderde vraag naar landbouwproducten zal leiden tot daling van de druk op het gehele landbouwsysteem, met mogelijk lagere gewasopbrengsten.

Ook zullen de emissies van methaan en lachgas sterk dalen (beide eveneens broeikasgassen). Bij elkaar betekent dit, dat er minder emissiereductie in de energiesector nodig is om een bepaalde klimaatdoelstelling te halen. Zo zal een overgang door alle wereldburgers naar een dieet met weinig vlees, opgesteld op basis van gezondheidscriteria, leiden tot een besparing op de kosten van klimaatbeleid. Voor een 450 ppm CO₂-eq. stabilisatiedoelstelling zouden de kosten over de periode 2000-2050 50% lager uitvallen dan bij voortzetting van het huidige consumptiepatroon. Hierbij moet echter worden aangetekend dat deze dieetvarianten worden verondersteld 'vanzelf' te gebeuren tussen 2010 en 2030 zonder enige transitiekosten. De instrumenten om tot dergelijke transitie te komen zijn hier niet onderzocht. Ook is geen rekening gehouden met een veranderend bestedingspatroon bij verminderde vleesconsumptie. Deze verandering in gedrag kan leiden tot meer uitstoot van broeikasgasemissies dan in deze studie berekend.

Uit deze studie wordt duidelijk dat dieetverandering niet alleen een aanzienlijke invloed heeft op mondiaal landgebruik en biodiversiteit, maar ook een belangrijke bijdrage aan toekomstig

klimaatbeleid kan leveren. Gezien de omvang van het mogelijke effect wordt aanbevolen nader onderzoek te doen naar mogelijkheden en effecten van vermindering of verschuiving van de consumptie van dierlijke producten.

I Introductie

Volgens de Wereldvoedselorganisatie (FAO) is de veeteelt verantwoordelijk voor ongeveer 18% van de mondiale broeikasgasemissies op basis van CO₂ equivalenten¹ (Steinfeld et al., 2006). Hoewel deze schatting onzeker is (Sebek et al., 2008), geeft het wel het belang aan van dierlijke productie voor klimaatverandering. De belangrijkste bronnen hierbij zijn uitstoot van methaan (CH₄) door runderen, lachgas (N₂O) uit mest en kunstmest en koolstofdioxide (CO₂) door landgebruiksverandering en energieverbruik in de veeteelt.

Herkauwers (rundvee, schapen en geiten) zijn verantwoordelijk voor het grootste deel van de uitstoot door veeteelt, vooral CH₄ als gevolg van vertering in hun maagdarmkanaal (Crutzen et al. 1986). Daarnaast beslaat grasland dat wordt begraasd door herkauwers meer dan 25% van de mondiale landoppervlakte, wat neerkomt op ongeveer 70% van het mondiale landbouwareaal. Dit enorme ruimtebeslag van graslandssystemen heeft een fors effect op de koolstofkringloop via ontbossing en landdegradatie (Asner et al., 2004).

Behalve direct landgebruik voor herkauwers wordt in de veeteelt naast ruwvoer ook veel krachtvoer (voedselgewassen) gegeven. Voor de productie daarvan wordt momenteel 34% van het mondiale akkerland gebruikt (Steinfeld et al., 2006). Samen met het grasland is dan ook 80% van het totale landbouwareaal toe te wijzen aan de veeteelt.

De combinatie van directe broeikasgasemissies en een grote vraag naar land geeft het belang van de veestapel in het klimaatdebat aan. Onlangs heeft het *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) bevestigd dat de concentratie van broeikasgassen bij het uitblijven van klimaatbeleid zou kunnen leiden tot een temperatuurstijging van 2,5 tot 5 °C en meer boven pre-industrieel niveau (IPCC, 2007). Om deze temperatuurstijging te voorkomen zou de uitstoot van broeikasgassen fors gereduceerd moeten worden.

Het langetermijndoel van de Europese Unie is om de temperatuurstijging tot 2°C te beperken. Om dit doel met een goede kans (meer dan 50% op basis van waarschijnlijkheidsverdelingen van de klimaatgevoeligheid) te bereiken, moet de broeikasgasconcentratie op lange termijn onder het niveau van 450 ppm CO₂-eq. (2.6 W m⁻²) blijven (Meinshausen et al., 2006; IPCC, 2007). Voor het bereiken van zo'n laag stabilisatieniveau is in 2050 een reductie van de broeikasgasemissies nodig van rond 40-80% ten opzichte van het jaar 2000 (Fisher et al., 2007).

Verscheidene studies hebben in de afgelopen jaren laten zien hoe zulke reductiehoeveelheden haalbaar zouden kunnen zijn, indien er gebruik gemaakt wordt van technische maatregelen in het energiesysteem, vermindering van niet-CO₂-gassen met name in de landbouwsector en het herplanten van bossen voor CO₂-opname (Fisher et al., 2007; Van Vuuren et al., 2007).

Tot nu toe is er echter nog weinig aandacht voor het aanpassen van consumptiepatronen. In het energiedebat is wel veel aandacht voor energiebesparing door technische maatregelen, maar effecten van minder consumeren worden zelden gekwantificeerd. Slechts enkele studies hebben erop gewezen dat dieetverandering met vervanging van vlees door plantaardige eiwitten tot

1) CO₂ equivalenten (CO₂-eq.) wordt gebruikt als eenheid om de emissies of concentraties van alle broeikasgassen uit het Kyoto-Protocol (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs en SF₆) in equivalente emissies of concentraties van CO₂ uit te drukken op basis van Global Warming Potentials.

emissiereductie leidt (Aiking et al., 2006; McMichael et al., 2007). Echter, deze studies hebben de effecten van dieetverandering tot nu toe niet gekwantificeerd in de context van verschillende consumptieaanpassingen. Daarnaast is niet de relatie gelegd met het halen van het Europese klimaatdoel van 2°C noch met de kosten van klimaatbeleid.

Naast klimaatbeleid bestaan er meerdere andere belangrijke effecten die samenhangen met dieetverandering. Zo is er toenemende aandacht voor de effecten van voedselconsumptie op menselijke gezondheid en levensverwachting. Terwijl aanvankelijk de meeste aandacht werd besteed aan de gevolgen van overgewicht, is er tegenwoordig ook steeds meer belangstelling voor de nadelige effecten van hoge vleesconsumptie. Het eten van vooral rundvlees en varkensvlees vergroot de kans op dikke darm- en endeldarmkanker (WCRF en AICR, 2007), en het beperken van de consumptie van vet vlees zou de kans op hart- en vaatziekten verlagen (Li et al., 2005; Ding, 2006). Daarom zijn recentelijk dieetaanbevelingen op basis van dit inzicht bijgesteld (Willett, 2001).

Ook voor biodiversiteitbeleid wordt steeds vaker het onderwerp vleesconsumptie genoemd. In haar Global Biodiversity Outlook noemt de *Convention on Biological Diversity* (CBD) vleesconsumptie expliciet als onderwerp waar potentieel beleid op gevoerd kan worden. De prijsverhoging van vlees en melk als gevolg van meer stringente eisen ten aanzien van dierwelzijn en milieu heeft weinig gevolgen voor biodiversiteit. Een prijsverhoging van vleesproducten van 10% wereldwijd, leidt tot een verminderde vleesconsumptie van 5% ten opzichte van een baseline, waarin de vleesconsumptie veel harder stijgt tussen 2000 en 2050. Uiteindelijk is het biodiversiteitsverlies in 2050 dan ook slechts 0,3% minder dan in de baseline (CBD/MNP, 2007).

In deze studie wordt de mogelijke invloed van dieetveranderingen op de kosten van ambitieuze klimaatdoelstellingen verkend. Doel van de studie is uitsluitend om in te schatten wat de wereldwijde bijdrage van dieetverandering kan zijn. De studie gaat niet in op de vraag hoe en of deze verandering kan worden bereikt en wat hiervan de kosten zijn. Hiervoor worden de vereiste emissiereducties en de kosten van klimaatbeleid vergeleken met een *Referentie* scenario waarin vleesconsumptie verder stijgt volgens verwachting. Ook worden resultaten voor landgebruik en biodiversiteit gegeven. Hierbij wordt uitgegaan van klimaatbeleid dat leidt tot uiteindelijke stabilisatie van broeikasgasconcentraties op een niveau van 450 ppm CO₂-eq. De vleesconsumptie wordt aangepast in vier varianten van dieetverandering: *GeenHerkauwers* (geen vlees van herkauwers), *GeenVlees* (geheel geen vlees), *GeenDierproducten* (geen enkel dierlijk product) en *WillettDieet* (een 'gezond' dieet). Hiervoor wordt het geïntegreerde model IMAGE (Integrated Model to Assess the Global Environment) (MNP, 2006) gebruikt.

IMAGE en de veronderstellingen voor het referentiescenario en de verschillende dieetvarianten worden verder beschreven in hoofdstuk 2. De resultaten van het referentiescenario en de nodige inspanning voor het realiseren van het 450 ppm CO₂-eq. stabilisatiescenario zonder dieetverandering worden gepresenteerd in paragrafen 3.1 en 3.2. Vervolgens worden de vier varianten van dieetverandering geanalyseerd op hun landgebruik- en klimaateffecten (paragraaf 3.3). Het effect van dieetverandering op de kosten van klimaatbeleid wordt verkend in paragraaf 3.4. Tot slot wordt het effect van dieetverandering op de mondiale biodiversiteit besproken (paragraaf 3.5). Een discussie over de mogelijke implicaties van de bevindingen, inclusief onzekerheden, is te vinden in hoofdstuk 4.

2 Methodologie

2.1 Het IMAGE model

Het IMAGE-model (MNP, 2006) is een geïntegreerd milieumodel dat mondiale veranderingen in het fysieke systeem van de aarde simuleert over een periode van 50 tot 100 jaar. Bevolking en economie zijn de belangrijkste drijvende krachten van veranderingen in het energie- en landbouwsysteem. Energiescenario's worden ontwikkeld met het TIMER-model (Van Vuuren et al., 2006). Mondiale emissiepaden die leiden tot stabilisatie van de broeikasgasconcentratie op een specifiek niveau worden afgeleid met het klimaatbeleidmodel FAIR (Den Elzen en Lucas, 2005). Zowel het energie- als landbouweconomiesysteem wordt gemodelleerd op een niveau van 24 of 26 wereldregio's. Overige milieuparameters, zoals beschreven door deelmodellen voor vegetatie, koolstofcyclus, gewasproductie en landgebruik, worden weergegeven op een gridniveau van 0,5 bij 0,5 graden. De broeikasgasemissies (uit energie, landbouw en landgebruik) worden berekend aan de hand van IPCC guidelines (IPCC, 2006). Het koolstofmodel van IMAGE houdt rekening met feedbacks zoals CO₂-fertilisatie en toename van bodemrespiratie als gevolg van temperatuurstijging. Klimaatverandering op basis van broeikasgasemissies wordt berekend met een eenvoudig mondiaal klimaatmodel dat is gebaseerd op het MAGICC-model (Wigley en Raper, 1992; Hulme et al., 2000). Schaling naar een fijn gridniveau (0,5 bij 0,5 graden) gebeurt met de methode van Schlesinger et al. (2000). Verdere details hiervan zijn te vinden in Eickhout et al. (2001).

Hierna wordt verder ingegaan op de onderdelen van IMAGE die van belang zijn voor energie- en landgebruik, broeikasgasemissies en de koolstofcyclus. Andere onderdelen van IMAGE zijn in meer detail beschreven in MNP (2006).

2.1.1 Het energiesysteem

Het TIMER-model beschrijft de langetermijnontwikkelingen in vraag en aanbod van tien primaire energiedragers (zoals olie, gas en steenkool) voor vijf sectoren (zoals transport, huishoudens en industrie) in 26 wereldregio's (Van Vuuren et al., 2006). Op basis van uitputting van natuurlijke hulpbronnen, technologische ontwikkeling, de ontwikkeling van energieprijzen en preferenties kiest het TIMER-model een combinatie van technologieën met voorkeur voor de goedkoopste opties. Emissies uit het energiesysteem worden vervolgens berekend door de energiestromen per energiedrager, sector en techniek te vermenigvuldigen met emissiefactoren en vervolgens te sommeren.

Klimaatbeleid wordt in het model gesimuleerd door het invoeren van een prijs op koolstofemissies. Hierdoor worden energiebesparing en het gebruik van technologieën met geen of minder koolstofuitstoot en 'end-of-pipe' emissiereductiemaatregelen gestimuleerd. Het prijsniveau van koolstofemissies dat nodig is om een doelstelling te bereiken wordt bepaald door het FAIR-model op basis van de verwachte emissies zonder klimaatbeleid en de kosten van het reduceren van CO₂- en niet-CO₂-broeikasgassen (zie ook paragraaf 2.4).

2.1.2 Landgebruiksveranderingen

Het IMAGE-landbouwmodel onderscheidt zeven voedselgewassen (vier groepen van granen, peulvruchten, zetmeel- en oliegewassen) en vijf diercategorieën (vleesvee, melkvee, varkens, pluimvee, schapen en geiten). De productiviteit van de gewassen en gras wordt berekend door het AEZ-model (Agro-Ecological Zones; Leemans en Van den Born, 1994). De landbouwgrond die nodig is voor de regionale productie (op basis van regionale vraag en handel) hangt af van de (aangenomen veranderingen in) gewasopbrengsten en grasproductiviteit. Landbouwgewassen en gras worden op gridniveau gealloceerd om rekening te houden met de heterogeniteit van het land binnen een regio. De allocatieregels zijn gebaseerd op landbouwproductiviteit en andere socio-economische overwegingen zoals bevolkingsdichtheid en afstand tot water en infrastructuur. Als in een regio de vraag naar voedsel sneller stijgt dan de gewasproductiviteit, vindt uitbreiding plaats van landbouwgrond ten koste van natuurlijke vegetatie. Afhankelijk van het type vegetatie ontstaat hierdoor een uitstoot van broeikasgassen zoals CO₂ en N₂O door verlies van organische stof in de bodem en activiteiten zoals verbranding van biomassa. Andersom, als de gewasproductiviteit sneller stijgt dan de vraag, of als de vraag daalt, wordt landbouwgebied verlaten en kan natuur hergroeien, wat leidt tot extra opname van CO₂. Bio-energiegewassen kunnen slechts op natuurlijke graslanden en verlaten landbouwgebied geteeld worden. Door deze veronderstelling vindt er geen ontbossing plaats voor productie van bio-energie (Hoogwijk, 2004).

2.1.3 Landgebruik voor veeteelt

IMAGE onderscheidt extensieve pastorale en intensieve gemengde en niet-grondgebonden (industriële) veeteeltproductiesystemen. In pastorale productiesystemen domineren herkauwende graasdieren. Industriële en gemengde productiesystemen zijn in meer of mindere mate afhankelijk van de aanvoer van krachtvoer en andere voedermiddelen. Productie van varkensvlees, kip en eieren vindt volledig plaats in gemengde en industriële systemen, terwijl rundvlees, melk, schapen- en geitenvlees en melk afhankelijk van de wereldregio deels in pastorale en deels in gemengde en industriële productiesystemen worden geproduceerd. Voor ieder productiesysteem en per regio worden veronderstellingen gemaakt over de samenstelling van het voederrantsoen en de voederconversie om de vraag naar veevoer te berekenen (Bouwman et al., 2005). Over het algemeen zijn de pastorale systemen minder efficiënt met betrekking tot de voederconversie dan gemengde en industriële productiesystemen. Echter, in pastorale systemen worden grote oppervlaktes grasland benut die niet of minder geschikt zijn voor andere landbouwkundige activiteiten.

In het referentiescenario wordt verondersteld dat er in de loop van de tijd (2000-2050) een langzame verschuiving plaatsvindt van de productie van rundvlees, melk, geiten en schapenvlees van de pastorale naar de gemengde en industriële productiesystemen. Hierdoor neemt de vraag naar krachtvoer toe.

2.1.4 Niet-CO₂-emissies uit landbouw

Methaanemissies door vertering in het maagdarmkanaal bij herkauwers worden berekend op basis van de gebruikte hoeveelheden ruw- en krachtvoervoer (Bouwman et al., 2005) en IPCC methaanconversiecijfers (IPCC, 2006). Methaanuitstoot uit dierlijke mest is gebaseerd op recente schattingen van Steinfeld et al. (2006) en N₂O-uitstoot als gevolg van aanwending van dierlijke mest en gebruik van kunstmest op IPCC (2006). De emissiefactoren voor kunstmest en dierlijke

Tabel 1 Mondiale bevolking, BBP per inwoner en antropogene broeikasgasemissies voor 2000, 2030 en 2050 in het referentiescenario (OECD, 2008)

	Bevolking	BBP	Energie	Industrie	Landgebruik
	Miljoen inwoners	US\$ per inwoner	-----	GtC-eq.per jaar ^a	-----
2000	6093	5584	7,6	0,5	3,0
2030	8236	10282	12,9	0,8	3,3
2050	9122	16012	15,1	1,0	3,3

a) Gt C-eq. is de totale emissie van broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs en SF₆) uitgedrukt in zogenaamde C-equivalenten (1 CO₂-eq. =44/12 C-eq.).

mest worden verondersteld niet te veranderen in het referentiescenario, maar kunnen wel veranderen door klimaatbeleid (zie paragraaf 2.4). Echter, de emissies per producteenheid veranderen in het referentiescenario wél door een verbeterde efficiëntie in zowel akkerbouw als veeteelt.

2.1.5 De koolstofcyclus

Het IMAGE-koolstofmodel berekent de uitwisseling van koolstof tussen land en atmosfeer op gridniveau (0,5 bij 0,5 graden). Elke gridcel kent specifieke klimaatomstandigheden, zoals temperatuur en neerslag, bodemkarakteristieken en landgebruik. Op basis hiervan wordt met een vegetatiemodel (een aangepaste versie van BIOME; (Prentice et al., 1992).) de verspreiding van veertien natuurlijke vegetatietypen en landgebruikstypen berekend. Als in een gridcel natuurlijke vegetatie hergroeit in een verlaten landbouwgebied, neemt de netto primaire productie (NPP) toe tot een maximumwaarde die specifiek is voor ieder vegetatietype. De lengte van de periode van hergroei tot maximale NPP is ook vegetatie-afhankelijk: bij overgang van landbouw naar grasland duurt het twee jaar, maar als bijvoorbeeld naaldbos groeit op verlaten landbouwgebied duurt dit twintig jaar. Dit betekent echter niet dat in die periode de toename van biomassa is gestabiliseerd, omdat hiervoor meer tijd nodig is (Van Minnen et al., 2000). Het koolstofmodel van IMAGE is in meer detail beschreven in Kein Goldewijk et al. (1994), Van Minnen et al. (2000) en Leemans et al. (2002).

2.2 Referentiescenario

Als basis voor de berekeningen is een ‘referentie’scenario gebruikt voor de toekomstige ontwikkeling in een wereld zonder expliciet klimaatbeleid. Dit scenario kan worden beschouwd als een ontwikkeling voor ‘business as usual’ (Tabel 1) en is gebaseerd op recente projecties voor economie, bevolking, voedselconsumptie, landbouwproductie en de energievraag en -productie (Tabel 1; OECD, 2008).

Om de ontwikkeling van de voedselvraag en landbouwproductie te beschrijven is het IMAGE-model gekalibreerd met cijfers uit projecties voor de periode 2000-2050 van de Wereldvoedselorganisatie (FAO) van de Verenigde Naties (Bruinsma, 2003; FAO, 2006).

Voor de socio-economische ontwikkelingen (economie, bevolking) en het verloop in de energiesector zijn de projecties volgens het referentiescenario van de Environmental Outlook van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling genomen (OESO) (OECD, 2008). Voor de energiesector volgt dit referentiescenario in grote lijnen de projecties van het Interna

Tabel 2 Korte beschrijving van het referentiescenario en de vier varianten

Variant	Beschrijving
Referentie	Landbouwproductie voor de periode 2000-2030 volgens FAO 'Agriculture Towards 2030' (Bruinsma 2003) and uitbreiding tot 2050 (FAO 2006). De projecties voor de periode 2000-2030 zijn op landschaal, en geaggregeerd naar het niveau van 24 wereldregio's van het IMAGE-model. De projecties voor 2030-2050 zijn op continentale schaal.
<i>GeenHerkauwers</i>	Als referentiescenario, maar met complete substitutie tussen het jaar 2010 en 2030 van eiwitten in vlees van alle herkauwers (o.a. runderen, buffels, schapen en geiten) door plantaardige eiwitten. Voor andere dierlijke producten zoals wol en leer is verondersteld dat ze worden vervangen door andere (synthetische) producten.
<i>GeenVlees</i>	Als <i>GeenHerkauwers</i> , met bovendien substitutie tussen 2010 en 2030 van varkensvlees en kip door plantaardige eiwitten.
<i>GeenDierproducten</i>	Als <i>GeenVlees</i> , met bovendien substitutie tussen 2010 en 2030 van eiwitten in melk en eieren door plantaardige eiwitten.
<i>WillettDieet</i>	Aanbevelingen voor een gezond menselijk dieet van de Harvard Medical School (Willett, 2001) worden mondiaal tussen 2010 en 2030 geïmplementeerd voor vlees en eieren.

tionale Energie Agentschap (IEA, 2006). Het IMAGE-model is ook gebruikt in het genereren van deze energie- en landresultaten in de OESO-baseline (Myrold en Tiedje, 1985; Hoogwijk, 2004; MNP en OECD, 2008).

2.3 Varianten voor voedselconsumptie

Uitgaande van het referentiescenario zijn vier varianten ontwikkeld om de gevolgen van veranderingen in de menselijke consumptie van dierlijke producten te analyseren. In deze vier varianten wordt vlees gedeeltelijk of geheel vervangen door plantaardige producten: (i) vervanging van al het vlees van herkauwers (rund-, schapen- en geitenvlees) ('GeenHerkauwers'); (ii) volledige vervanging van vlees (rund-, schapen- en geitenvlees, varkensvlees en kip) ('GeenVlees'); (iii) volledige vervanging van alle dierlijke producten (alle vleessoorten, melk en eieren) ('GeenDierproducten'); (iv) Gedeeltelijke vervanging van dierlijke producten op basis van een gezond dieet zoals gepubliceerd door de Harvard Medical School (Willett, 2001) ('Willett-Dieet'). In alle varianten worden eiwitten uit vlees, eieren, melk en afgeleide producten als boter en kaas vervangen door eiwitten uit peulvruchten en sojabonen. Deze transitie vindt geleidelijk plaats tussen 2010 en 2030 en blijft daarna bestaan. Er is verondersteld dat er geen kosten zijn verbonden aan de implementatie van de verschillende diëten. De details van de verschillende varianten zijn weergegeven in Tabel 2.

De vierde variant (*WillettDieet*) is gebaseerd op een gezond dieet, zoals ontwikkeld door de Harvard Medical School for Public Health (Willett 2001). Dit dieet bestaat uit een 'bescheiden' consumptie van rund- en varkensvlees, en 0 tot 2 porties vis, kip of eieren per dag. De grootte van een portie is 70 gram. Aannemende dat een bescheiden consumptie van rund-, schapen-, geiten- en varkensvlees bestaat uit één portie per week, en dat de mondiale visconsumptie niet zal stijgen, is aangenomen dat het dieet bestaat uit een dagelijkse gemiddelde consumptie van 10 gram rundvlees en 10 gram varkensvlees, en 47 gram kip en eieren per persoon (Tabel 3). Vergeleken met het referentiescenario voor het jaar 2050 komt dit dieet neer op 50% (rundvlees + varkensvlees) en 34% (kip en eieren) van het wereldgemiddelde, en slechts 16% en 18% van de consumptie in de Verenigde Staten.

Deze cijfers hebben betrekking op de werkelijke consumptie. Om tot de totale productie te komen, wordt er rekening gehouden met verliezen tijdens de voedselproductieketen (Tabel 3).

Tabel 3 Vleesconsumptie in de *WillettDieet*-variant

Product groep	Consumptie	Totale consumptie inclusief verliezen ^a	Totale consumptie FAO-categorieën en definities ^b
	[g/pers/dag]	[g/pers/dag]	[g/pers/dag]
Rundvlees	10,0	11,6	17,1
Varkensvlees	10,0	11,6	15,5
Kip en eieren	46,5	57,3	69,3
Vis	23,5 ^c		

a) Inclusief verliezen van 15% en 28% in huishoudens en 1% en 2% in de groothandel voor vlees en eieren, respectievelijk (Kantor et al., 1997).

b) Totale consumptie in FAO-categorie is inclusief botten, maar zonder ingewanden ('dressed carcass' = 'schoongemaakt karkas/romp'). Berekend op basis van de fractie vlees in 'dressed carcass' (Forrest et al., 1995).

c) Berekend op basis van totale visconsumptie voor 1997 (European Communities, 2006) en bevolkingsprojectie voor 2050. Visconsumptie is verder niet meegenomen; dit wordt ook niet gesimuleerd in IMAGE.

Het dieet is voor alle landen van de wereld toegepast. Dit leidt in sommige delen van de wereld (veelal ontwikkelingslanden) tot een hogere vleesconsumptie en in andere (geïndustrialiseerde) landen tot een lagere vleesconsumptie dan in het referentiescenario.

Eiwitten uit vlees, eieren, melk en afgeleide producten als boter en kaas worden vervangen door eiwitten uit peulvruchten en sojabonen². Deze substitutie wordt op basis van het eiwitgehalte berekend. De eiwitgehalten worden verondersteld op basis van versgewicht van 20% voor vlees, 20% voor peulvruchten en 4% voor melk. Voor de additionele peulvruchten die als vleesvervanger worden gebruikt, is aangenomen dat 60% uit sojabonen bestaat. Dit is gelijk aan het aandeel van sojabonen in de totale productie van peulvruchten in het jaar 2000. De productie van alle overige voedselgewassen is gelijk aan die in het referentiescenario.

In het jaar 2000 was het energiegebruik voor verwerken en transport van vlees en melk ongeveer 1% van het totale wereldwijde energieverbruik, en dit is meer dan het energiegebruik voor plantaardige producten (Steinfeld et al., 2006). Om met daling in energieverbruik als gevolg van substitutie van vlees en melk door peulvruchten rekening te houden, is de energieconsumptie per productgroep berekend voor het referentiescenario en de varianten geïmplementeerd in het IMAGE-energiemodel TIMER. De aldus bereikte reductie in energiegebruik varieert tussen 0,3 en 0,9%, afhankelijk van de dieetvariant.

2.4 Mitigatieopties en -kosten

In de mitigatiescenario's wordt een emissiepad gebruikt dat leidt tot een uiteindelijke stabilisatie van broeikasgasconcentraties op het niveau van 450 ppm CO₂-eq. (een stralingsforcering van 2,6 W m⁻²) zoals wordt beschreven door (Den Elzen en Van Vuuren, 2007). Het is gebleken dat bij een piekscenario, waarbij een lichte overschrijding van de stabilisatie-doelstelling is toegestaan alvorens het einddoel te bereiken, de mitigatiekosten lager zijn dan wanneer broeikasgasconcentraties

2) Peulvruchten (bonen, erwten, linzen, kikkererwten) zijn de zaden van gewassen gebruikt als voedsel behorende tot de familie van leguminosen. De term 'pulses' (peulvruchten) wordt door de FAO gebruikt voor gewassen die exclusief voor het droge zaad worden gebruikt. Deze definitie sluit uit groene bonen en erwten (door FAO geklassificeerd als groenten), leguminosen geteeld voor olieproductie (oliehoudende zaden als sojabonen en pinda's) en zaden van leguminosen als klavers en lucerne die worden gebruikt als zaaizaad. In deze studie worden de bonen van soja geoogst voor de productie van vleesvervangers, en vallen daarom onder de definitie van 'peulvruchten'.

traties direct op het einddoel stabiliseren (Den Elzen en Van Vuuren, 2007). Daarom piekt het hier gekozen profiel op 510 ppm CO₂-eq., of 3,2 W m⁻²) in het midden van de 21^{ste} eeuw, waarna concentraties dalen tot het doelniveau 450 ppm.

Het FAIR-model (Den Elzen en Lucas, 2005) is gebruikt om de noodzakelijke emissiereducties voor het bovengenoemde profiel te verdelen over wereldregio's, economische sectoren en de verschillende broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O etc.). Hierbij minimaliseert het FAIR-model de kosten van emissiereducties met behulp van marginale reductiekosten (MRK) curves. MRK-curves weerspiegelen de kosten van reducties van emissies op basis van de verschillende reductie-opties en technieken die beschikbaar zijn voor een specifieke bron en broeikasgas. Achtereenvolgens worden reductie-opties met de laagste kosten beschouwd. MRK-curves beschrijven dus zowel de potentiële reductie als de kosten daarvan.

De MRK-curves voor CO₂-emissies uit de energiesector worden in het TIMER-model berekend door een prijs voor emissierechten op te leggen (zie ook paragraaf 2.1 onder energiesysteem). MRK-curves voor niet-CO₂-broeikasgassen (zoals CH₄ en N₂O uit de landbouwsector) zijn gebaseerd op het EMF-21-project (Weyant et al., 2006) en een uitbreiding daarvan zoals beschreven in Lucas et al. (2006).

De MRK-curves worden door FAIR gebruikt om de prijs van emissierechten en de mondiale jaarlijkse reductiekosten te berekenen (uitgedrukt in 1995 US\$). Daarnaast wordt ook de netto contante waarde (NCW) van de reductiekosten berekend. Dit is de som van de verdisconteerde kosten over de periode 2005-2050. In deze studie wordt een discontovoet van 4% in 2005 gebruikt, afnemend naar 2% in 2050. De netto contante waarde van de reductiekosten is uitgedrukt als fractie van de netto contante waarde van het bruto binnenlands product (BBP) (cumulatief, verdisconteerd BBP).

Om de gevoeligheid van de resultaten voor variatie in de discontovoet te analyseren, zijn ook alternatieve methoden voor het verdisconteren gebruikt volgens Britain H.M. Treasury (2003), Nordhaus (2007) and Stern (2006). Ook is een constante discontovoet van 5% gebruikt zoals gegeven in het derde en vierde assessmentrapport van IPCC (IPCC, 2001; IPCC, 2007).

2.5 Biodiversiteit

Effecten op de mondiale biodiversiteit zijn berekend met het GLOBIO3-model, dat onderdeel uitmaakt van het bredere IMAGE-modellenraamwerk (MNP, 2006). In GLOBIO3 worden de effecten van een aantal milieudrukfactoren op biodiversiteit berekend en gecombineerd. Het gaat daarbij om landgebruiksveranderingen, klimaatverandering, effecten van infrastructuur (zoals fragmentatie, verstoring, en effecten van nederzettingen) en stikstofdepositie. Biodiversiteit wordt in het model uitgedrukt met de MSA-indicator (Mean Species Abundance of Original Species). Deze indicator geeft een indruk van de graad van natuurlijkheid van ecosystemen, zowel voor systemen met een hoge mate van menselijk gebruik (zoals intensieve akkerbouw en veeteelt op graslanden en in omgezette bosgebieden), als voor oorspronkelijke ecosystemen die indirect worden beïnvloed (zoals bossen die door klimaatverandering en fragmentatie worden beïnvloed). In het model zijn dosis-effect-relaties opgenomen die het verband tussen de milieudrukfactoren en de MSA-indicator beschrijven. Deze relaties zijn gebaseerd op een uitgebreide database met gegevens uit wetenschappelijke literatuur. Het GLOBIO-model is uitgebreider beschreven in andere publicaties (Alkemade et al., 2006; CBD en MNP, 2007).

De effecten van de varianten voor vleesconsumptie en klimaatbeleid op biodiversiteit zijn doorgerekend met de volgende aannames. Door de vermeden expansie van landbouwgebieden zijn er in 2050 meer gebieden nog in hun natuurlijke staat met bijbehorende biodiversiteit. De landbouwgebieden die vrijkomen uit productie door consumptieveranderingen zullen weer herstellen naar een natuurlijke situatie, volgens het daar voorkomende ecosysteem (Prentice et al., 1992). Het herstel naar een geheel oorspronkelijke biodiversiteit is pas optimaal na 50 tot 100 jaar, afhankelijk van de intensiteit van gebruik en het type ecosysteem (graslanden of bossen). Na gemiddeld 30 jaar is er voor graslanden een relatief hoge graad van biodiversiteitherstel (50%) en voor bossen een gedeeltelijk herstel (ongeveer 25%). Het biodiversiteitherstel van natuurlijke graslanden ten opzichte van weidegebieden is kleiner dan de winst die optreedt bij conversie van akkerland naar bosgebied.

De invloed van de overige milieudrukfactoren (klimaatverandering, infrastructuur en N-depositie) worden verondersteld ook nog aanwezig te zijn, en beperken de mate van herstel. In de varianten met klimaatbeleid wordt in principe ook het positieve effect van een verkleind klimaat-effect op de wereldwijde biodiversiteit doorgerekend, maar deze is in 2050 beperkt (maximaal $0,3^{\circ}\text{C}$).

3 Resultaten

3.1 Referentiescenario

In het gebruikte referentiescenario groeit de wereldbevolking tussen 2000 en 2050 van 6 naar 9 miljard bewoners, terwijl het gemiddelde bruto binnenlands product (BBP) verdrievoudigt van 5500 naar 16000 US\$ per persoon (Tabel 1). Mede als gevolg hiervan nemen ook de broeikasgasemissies toe: van 11,2 Gt C-eq. in 2000³ naar 19,7 Gt C-eq. in 2050 (78% toename). In deze cijfers domineren de energiegerelateerde emissies (Tabel 1). Deze ontwikkeling strookt met de gemiddelde waarden binnen de spreiding van mogelijke scenario's zonder klimaatbeleid zoals gepresenteerd door IPCC (Fisher et al., 2007).

In dezelfde tijdsperiode (2000-2050) verdubbelt onder het referentiescenario ook de mondiale productie in de veeteeltsector (Figuur 1). Dit wordt met name veroorzaakt door de bevolkingsgroei en de toenemende vlees- en melkconsumptie per inwoner. Het landbouwareaal breidt tegelijkertijd met slechts 11% uit (Figuur 1). Dit komt door stijging van de productiviteit in zowel akkerbouw- als veeteelt, en een geleidelijke verschuiving in het dieetpatroon van rundvlees naar meer varkensvlees en kip (Figuur 1).

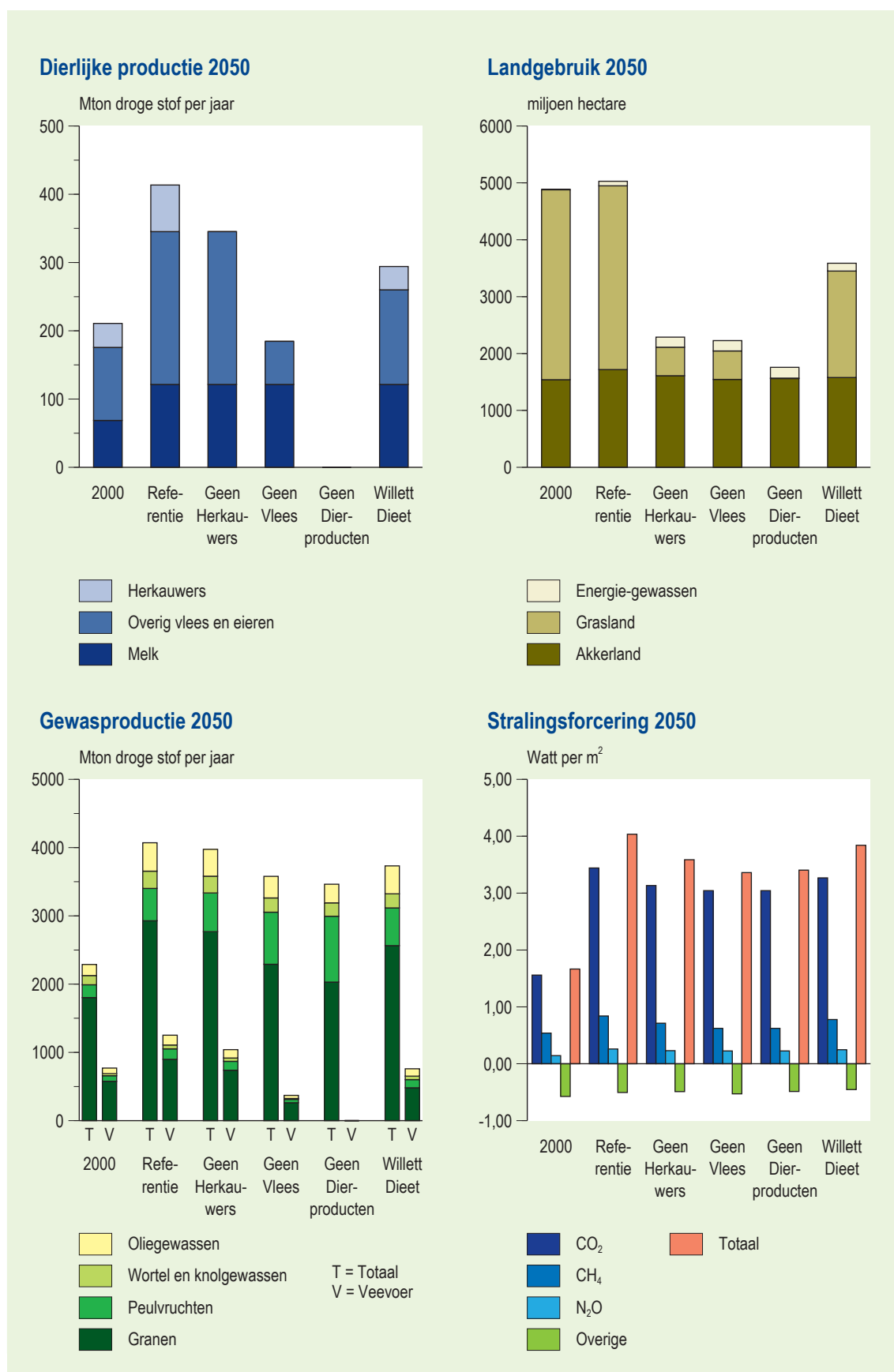
Als gevolg hiervan neemt de totale broeikasgasemissie door landbouw en ontbossing tussen 2000 en 2030 met 10% toe van 3,0 naar 3,3 Gt C-eq. Daarna blijven de emissies tot 2050 nagenoeg constant (Tabel 1; paragraaf 2.2). De bijdrage van niet-CO₂-broeikasgasemissies binnen dit totaal zijn 2 Gt C-eq. in 2000, 2,6 Gt C-eq. in 2030 en 2,8 Gt C-eq. in 2050.

De toename in broeikasgasemissies uit de landbouwsector wordt vooral veroorzaakt door een stijging van methaanemissies. De groeiende consumptie van vlees wordt namelijk niet volledig gecompenseerd door een toename in de efficiëntie (voerconversie). Terwijl de methaanemissie per kg vlees en melk (uitgedrukt in droog stof) daalt van 0,5 naar 0,4 g CH₄, neemt de mondiale methaanemissie door fermentatie in het maagdarmkanaal van herkauwers en uit dierlijke mest toe van ongeveer 100 Tg CH₄ per jaar (6,3 Tg C-eq.) in 2000 tot 170 Tg CH₄ (10,6 Tg C-eq.) per jaar in 2050. Belangrijk is in dit opzicht dat de verwachte toename van (industriële) productie van varkensvlees en kip niet alleen leidt tot meer broeikasgasemissies als gevolg van mestopslag en uitrijden van mest, maar ook tot een groeiend gebruik van krachtvoer. De productie van krachtvoer veroorzaakt ook een aanzienlijke emissie van broeikasgassen, onder andere als gevolg van de toepassing van kunstmest.

3.2 Mitigatie-inspanning zonder dieetverandering

Uitgaande van het referentiescenario wordt een klimaatbeleidsscenario ontwikkeld waarin de broeikasgasconcentratie stabiliseert op het niveau van 450 ppm CO₂-eq. Om dit lage niveau te bereiken, moeten de broeikasgasemissies vergeleken met het referentiescenario worden gereduceerd met bijna 70% in 2050 (Figuur 2). De grootste reductie wordt bereikt in de energiesector, hoofdzakelijk door verbetering van de efficiëntie, koolstofopvang en opslag, en toenemend

3) Dit cijfer wijkt af van de schatting van 12,2 Gt C-eq. van IPCC (2007). Dit is voornamelijk het gevolg van een andere inschatting van de CO₂ emissies als gevolg van ontbossing. Gezien de grote onzekerheden in mondiale emissieschattingen is een verschil van 10% acceptabel.



Figuur 1 Dierlijke productie, gewasproductie, landgebruik en totale stralingsforcering voor het jaar 2000 en 2050 volgens het referentiescenario en de vier varianten met gereduceerde consumptie van vlees van herkauwers (*GeenHerkauwers*), vlees (*GeenVlees*), dierlijke producten (*GeenDierproducten*) en een ‘gezond’ dieet (*WillettDieet*).

Tabel 4 Netto contante waarde (NCW) van de cumulatieve emissiereductiekosten over de periode 2005-2050 als percentage van de NCW van het BBP (cumulatief, verdisconteerd) voor het referentiescenario en de vier varianten voor verschillende methoden voor verdisconteren.

Methode van verdisconteren	NCW van emissiereductiekosten/NCW van BBP (2005-2050)				
	Referentie	<i>Geen Herkauwers</i>	<i>GeenVlees</i>	<i>Geen Dierproducten</i>	<i>WillettDieet</i>
Constance discontovoet (5% per jaar)	0,80	0,23	0,20	0,14	0,38
Britain H.M. Treasury (2003)	0,96	0,29	0,25	0,18	0,45
Weitzman (2001) ^a	1,04	0,31	0,27	0,20	0,48
Nordhaus (2007)	1,14	0,35	0,31	0,23	0,52
Stern (2006)	1,28	0,40	0,35	0,27	0,58

a) Deze waarden zijn in dit rapport gebruikt

gebruik van hernieuwbare energiebronnen. Het gebruik van bio-energie (energiegewassen) speelt een belangrijke rol, hoewel de productie daarvan is beperkt tot verlaten akkerland en natuurlijk grasland. Om de doelstelling van emissiereducties te bereiken, loopt de koolstofprijs op naar 650 US\$ per ton C-eq. in 2050 (Figuur 2). De directe mitigatiekosten op basis van de netto contante waarde bedragen ongeveer 1% van het BBP (Tabel 4). Dit komt overeen met andere schattingen van mitigatiekosten bij lage stabilisatiedoelen (Fisher et al., 2007).

3.3 Varianten met dieetverandering

De eerste drie varianten van het referentiescenario gebaseerd op volledige vervanging van verschillende veeteeltproducten hebben belangrijke gevolgen voor het mondiale landgebruik. De belangrijkste verschillen treden op in het graslandoppervlak; het grasareaal krimpt ten opzichte van het referentiescenario met 2700 miljoen hectare (Mha) (80%) in de *GeenHerkauwers*- en *GeenVlees*-varianten en met 3200 Mha (100%) in de *GeenDierproducten*-variant. In alle drie varianten neemt ook het akkerlandareaal af, omdat het areaal onder voedergewassen voor het vee groter is dan de vervangende oppervlakte die nodig is om plantaardige eiwitten te produceren voor menselijke consumptie. De afname bedraagt 6% in de *GeenHerkauwers*-variant (Figuur 1) en een verdere 4% in de *GeenVlees*-variant (Figuur 1). Bij additionele vervanging van melk en eieren in *GeenDierproducten* is in het geheel geen grasland meer nodig, terwijl de oppervlakte van het akkerland dan licht uitbreidt.

Vervanging van dierlijke door plantaardige eiwitten leidt tot een verminderd gebruik van veevoer (zie bijvoorbeeld Bouwman et al. (2005)), maar tot een toename van het gebruik van peulvruchten en sojabonen. Het volgende voorbeeld illustreert de verschillen in landgebruik (Tabel 5). Voor de productie van 100 kg eiwit uit rundvlees (500 kg rundvlees) is 0,6 hectare akkerland nodig. Hierbij wordt verondersteld dat 30% van het rantsoen bestaat uit krachtvoer, de voederconversie 20 kg voer per kg rundvlees bedraagt, en dat de gemiddelde voedergewasopbrengst 5000 kg per hectare is (Tabel 5). Om dezelfde hoeveelheid van 100 kg plantaardige eiwitten uit peulvruchten te produceren, is een akkerlandareaal van 0,25 hectare nodig, op basis van een opbrengst van 2000 kg per hectare. Voor de productie van 100 kg melkeiwit (of 2500 kg melk) is 0,1 hectare akkerland nodig, op basis van 30% krachtvoer in het rantsoen en een voederconversie van 1 kg voer per kg verse melk. Daarentegen is 0,36 hectare akkerland nodig voor de productie van 100 kg eiwit in varkensvlees (500 kg vlees), voor een rantsoen met 60% krachtvoer en een voederconversie van 6 kg voer per kg varkensvlees. In dit voorbeeld leidt

Tabel 5 Voorbeeld ter illustratie van de oppervlakte akkerland die nodig is voor de productie van 100 kg eiwit uit rundvlees, melk, varkensvlees en peulvruchten.

Type	Eiwit	Product (vlees/melk)	Voederconversie	Aandeel voedselgewassen in rantsoen	Gewasbehoefte	Gewasopbrengst	Oppervlakte
	[kg]	[kg]	[kg voer per kg product]	[fractie]	[kg per 100 kg eiwit]	[kg per ha]	[ha per 100 kg eiwit]
Rundvlees	100	500	20	0,3	3000	5000	0,6
Melk	100	2500	1	0,2	500	5000	0,1
Varkensvlees	100	500	6	0,6	1800	5000	0,36
Peulvruchten	100	NVT	NVT	NVT	500	2000	0,25

NVT = niet van toepassing.

de vervanging van melk door plantaardige eiwitten dus tot een toename van akkerlandoppervlakte, terwijl het benodigde akkerlandareaal kleiner wordt als rund- of varkensvlees worden vervangen. Het akkerlandareaal dat wordt gebruikt voor de teelt van veevoer ten behoeve van melk- en vleesproductie, neemt bij een intensivering van de veeteelt toe doordat het aandeel krachtvoer in het rantsoen toeneemt, terwijl door grotere efficiëntie (betere voederconversie) juist minder krachtvoer nodig is. Het nettoresultaat hangt af van de omvang van ieder van deze twee ontwikkelingen.

Het oppervlak landbouwgrond dat overbodig wordt gemaakt door de dieetveranderingen kan worden ingezet voor andere landbouwkundige doeleinden zoals de teelt van bio-energiegewassen, of om de natuurlijke vegetatie te laten hergroeien (als er geen ander gebruik is). Tabel 6 geeft een overzicht van potentieel natuurlijke vegetatie op arealen die in het jaar 2000 als grasland worden gebruikt. In IMAGE leidt de hergroei van gematigde, boreale en warme gemengde bossen (zoals zou gebeuren op 17% van het vrijkomende mondiale graslandareaal) en tropische savannes, scrubland, woodland en bos (op 35% van het vrijkomende mondiale graslandareaal) tot een toename van de biomassa vergeleken met grasland. Grasland met een lage productiviteit waar toendra en halfwoestijnen (ongeveer 20%) of steppen (op 30% van het vrijkomende mondiale graslandareaal) hergroeien dragen niet bij aan koolstofopname door de kleine koolstofvoorraad in deze natuurlijke systemen.

Al met al leiden de drie dieetvarianten tot een aanzienlijke vermindering van de totale mondiale broeikasgasemissie door landgebruik (CO₂ en niet-CO₂) in vergelijking met het referentiescenario (Tabel 7). De totale emissiereductie voor de meest extreme variant (*GeenDierproducten*) gedurende de periode 2000-2050 bedraagt 17% voor CO₂, 24% voor CH₄ en 21% voor N₂O (Figuur 1). De grootste bijdrage daaraan treedt al op door vervanging van vlees van herkauwers (*GeenHerkauwers*) (Figuur 2). In deze variant treedt een netto opname van CO₂ op van bijna 9 Gt C over de gehele periode, terwijl in het referentiescenario juist sprake is van een netto emissie van 7 Gt C (Figuur 2). Bovendien zijn ook de niet-CO₂-emissies van de veeteelt aanzienlijk lager (*GeenHerkauwers*, *GeenVlees*) dan in het referentiescenario of gaan zelfs terug naar nul (*GeenDierproductie*). De additionele opname van koolstof door vegetatie en de vermeden ontbossing dragen 65-75% bij aan de totale cumulatieve emissiereductie van de varianten ten opzichte van het referentiescenario. Hierbij is het effect op de koolstofkringloop slechts tijdelijk en keren de emissies op termijn weer terug naar hetzelfde niveau als in het referentiescenario, maar is de reductie van CH₄ en N₂O permanent (Figuur 2). De varianten leiden uiteindelijk tot een vermindering van de broeikasgasconcentraties met 57 tot 76 ppmv CO₂-eq. (of te wel een 0,5 W m⁻² lagere stralingsforcering) vergeleken met het referentiescenario (Figuur 1).

Tabel 6 Potentieel natuurlijke vegetatie types (volgens het IMAGE-model) op het mondiale areaal dat in 2000 als grasland gebruikt wordt [percentage van het totale grasland areaal].

Toendra	3
Boreaal bos	2
Grasland/steppe	27
Koel naaldbos	1
Gematigd gemengd bos	3
Gematigd loofbos	4
Warm gemengd bos	7
Woestijn (heet)	18
Struikgewas	13
Tropisch parkland	5
Savanne	15
Tropisch bos	3

Vergeleken met de drie meer extreme varianten, leidt de variant *WillettDieet* tot een kleinere maar nog altijd significante mondiale emissiereductie. Ook in deze variant komt de belangrijkste bijdrage vooral van de verminderde consumptie van vlees van herkauwers. In deze variant wordt in 2050 daardoor 135 miljoen hectare minder akkerland en 1360 miljoen hectare minder grasland gebruikt dan in het referentiescenario (Figuur 1).

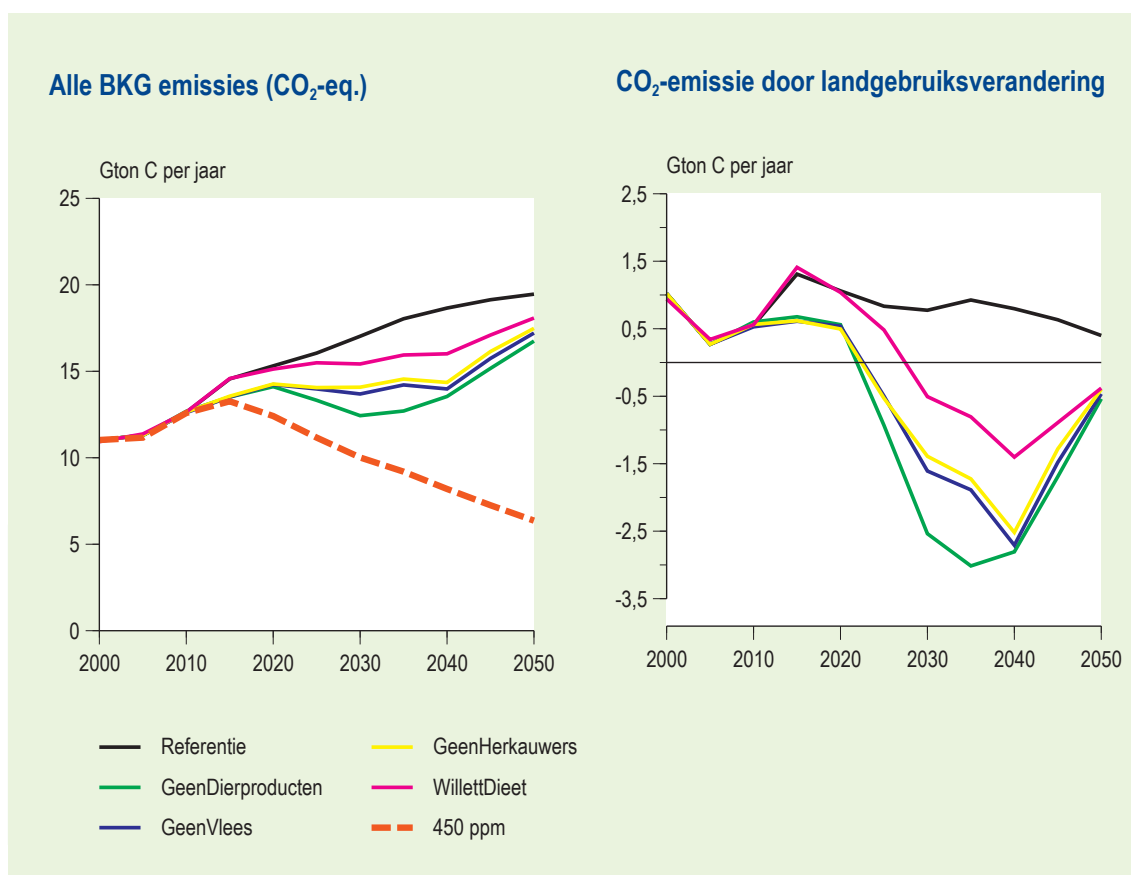
De broeikasgasemissies zijn gemiddeld ongeveer 10% lager, waarbij opnieuw het grote verschil tussen *WillettDieet* en het referentiescenario in de loop van tijd kleiner wordt als de additionele koolstofopname door hergroeiende vegetatie begint af te nemen (Figuur 2). De vermindering van emissies van N₂O en CH₄ uit dierlijke productiesystemen is echter wél permanent. De *WillettDieet*-variant leidt tot een 30 ppmv CO₂-eq. lagere broeikasgasconcentratie in 2050 dan het referentiescenario.

3.4 Mitigatie-inspanning in de dieetvarianten

Door lagere emissies en concentraties van broeikasgassen worden de resterende emissiereducties in de dieetvarianten, die nodig zijn om het emissieprofiel van 450 ppm CO₂-eq. (Figuur 2) te bereiken, 31-47% lager dan in het referentiescenario. Dit betekent een kleinere inspanning voor de energiesector; als gevolg hiervan zal de koolstofprijs minder snel stijgen (Figuur 3) (aange-

Tabel 7 Landgebruiksemissies van CO₂ in 2000 and 2050 voor het referentiescenario en de vier varianten.

	Gt C eq
2000	3,0
2050-Referentie	3,3
2050-GeenHerkauwers	1,7
2050-GeenVlees	1,5
2050-GeenDierproducten	1,1
2050-WillettDieet	2,1



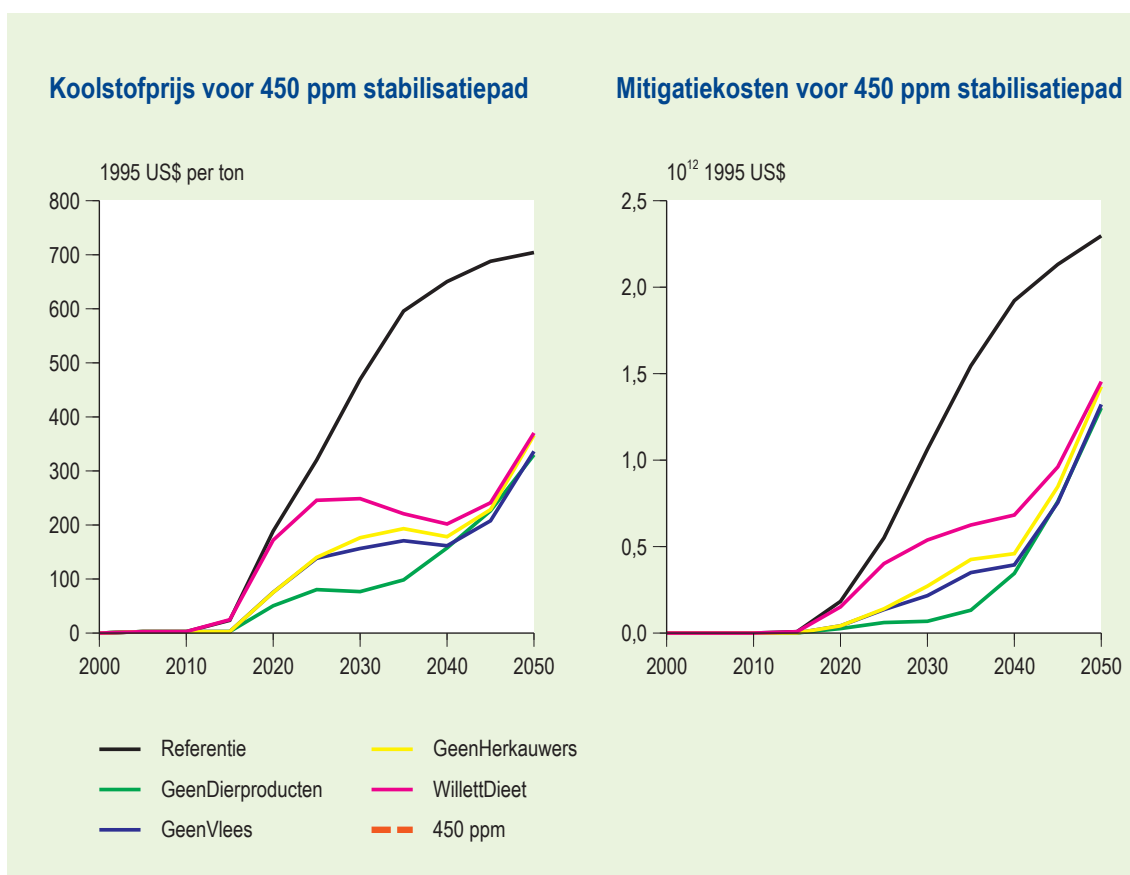
Figuur 2 Ontwikkeling van totale broeikasgasemissies en het emissiepad voor het 450 ppm stabilisatieprofiel (links) en landgebruiksemissies van CO₂ in het referentiescenario en de vier dieetvarianten (rechts), alles zonder klimaatbeleid. Voor een beschrijving van de dieetvarianten: zie Tabel 2.

nomen is dat aan een veranderd dieet geen kosten verbonden zijn). De netto contante waarde van de mitigatiekosten over de gehele periode is 70% lager in *GeenHerkauwers* en *GeenVlees* vergeleken met het referentiescenario (0,3% van het BBP tegenover 1%), en zelfs meer dan 80% lager in *GeenDierproducten* (Tabel 8). Omdat het effect van de additionele CO₂-opslag in hergroeiende vegetatie op de atmosferische concentratie slechts tijdelijk is, neemt het verschil in mitigatiekosten tussen het referentiescenario en de dieetvarianten af in de tijd (Figuur 3).

Net als bij de extremere varianten, leidt de emissiereductie in de *WillettDieet* variant ook tot een lagere koolstofprijs dan in het referentiescenario (Figuur 3). De directe mitigatiekosten in *WillettDieet* bedragen 0,48 % van het BBP op basis van netto contante waarde, en dat is 54% lager dan in het referentiescenario (Tabel 8). Een andere vergelijking kan worden gemaakt op basis van de noodzakelijk emissiereducties. De meest ambitieuze emissiereductie die is besproken tijdens de laatste bijeenkomst van de UNFCCC Conference of Parties in december 2007 in

Tabel 8 Spreiding van cumulatieve emissiereductiekosten (NCW van kosten als percentage van de NCW van BBP [2005-2050]) door gebruik van verschillende discontovoeten relatief ten opzichte van het referentiescenario [%] berekend op basis van Tabel 4.

Referentie	<i>GeenHerkauwers</i>	<i>GeenVlees</i>	<i>GeenDierproducten</i>	<i>WillettDieet</i>
100	29-31	25-28	17-22	45-48



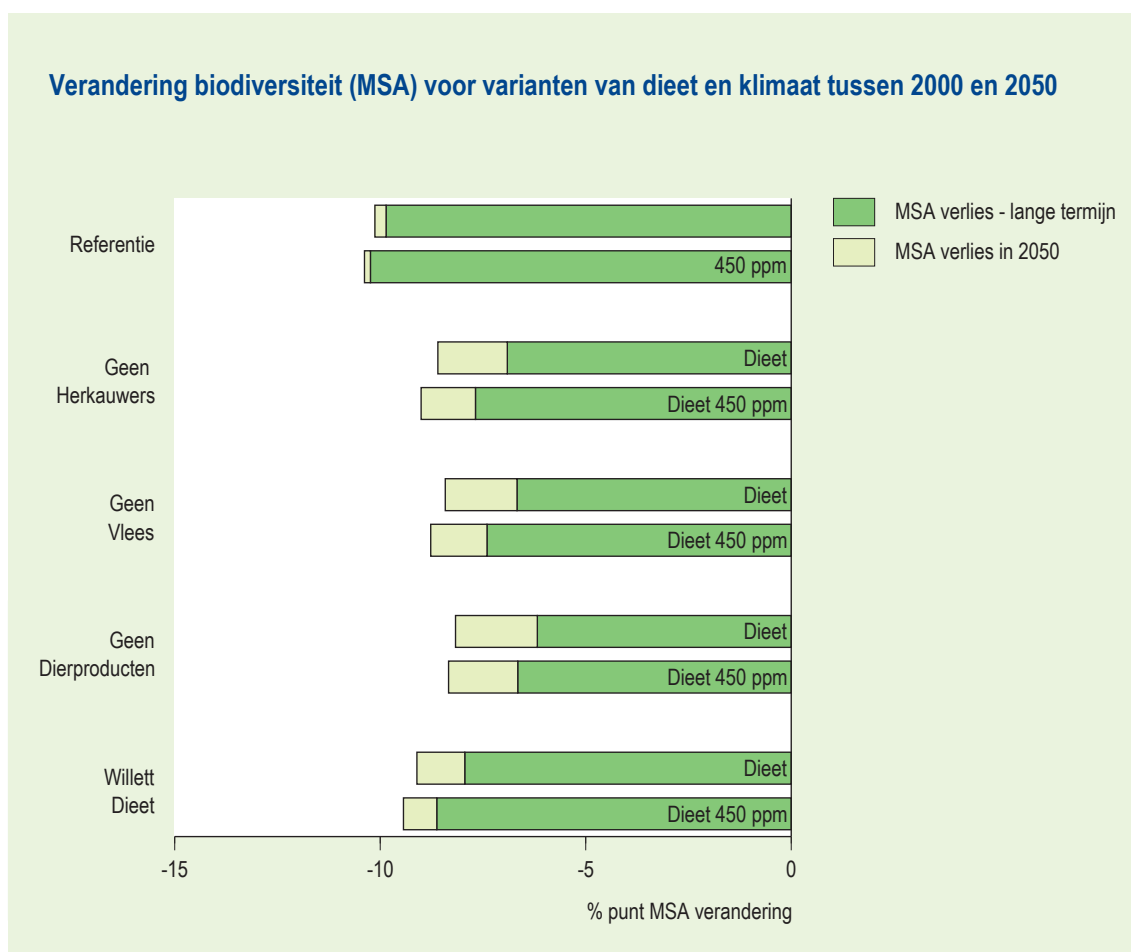
Figuur 3 Ontwikkeling van de prijs voor emissierechten (links) en de emissiereductiekosten (rechts) voor het bereiken van het 450 ppmv stabilisatieprofiel vanuit het referentiescenario en de dieetvarianten. **Figuur 2** (links) geeft het emissiepad weer voor het 450 ppmv stabilisatieprofiel. Voor een beschrijving van de dieetvarianten: zie Tabel 2.

Bali is een 50% reductie in 2050 ten opzichte van 2000; de variant *WillettDieet* zou naar schatting reeds 20% bijdragen aan deze reductie over de 2010-2050 tijdsperiode.

3.5 Biodiversiteitseffecten

In het referentiescenario neemt wereldwijd de biodiversiteit (gemeten in MSA = Mean Species Abundance) af van 72% tot 62%. Bij alle dieetvarianten (zonder klimaatbeleid) is het verlies aan biodiversiteit aanzienlijk minder dan in het referentiescenario (Figuur 4). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door vermeden expansie van landbouw en door herstel in verlaten landbouwgebieden. Verminderde effecten door minder klimaatverandering of minder stikstofdepositie zijn klein. Het effect is het kleinst voor de variant *WillettDieet*, en het grootst voor de variant *GeenDierproducten*.

Als alle verlaten landbouwgebieden in deze varianten volledig herstellen, dan varieert het vermeden verlies van MSA van 1,9 tot 3,7% (Figuur 4). In 2050 is de biodiversiteit in verlaten landbouwgronden nog maar deels hersteld, en is het vermeden verlies voor deze varianten respectievelijk 1 en 2%-punt. De verschillen voor biodiversiteit zijn veel kleiner dan de verschillen in landgebruik. Dit komt met name omdat het grootste verschil in landgebruik in graslanden zit (zie paragraaf 3.3). Omdat gebruik van graslanden minder zwaar telt als belasting voor biodi-



Figuur 4 Biodiversiteitsverlies in 2050 ten opzichte van 2000 in het referentiescenario en de verschillende dieetvarianten (met en zonder klimaatbeleid). Biodiversiteit is uitgedrukt in MSA (Mean Species Abundance; Alkemade et al., 2006). De resultaten voor ‘MSA verlies lange termijn’ zijn de waarden voor biodiversiteitsverlies die bereikt kunnen worden bij volledig herstel van de natuurlijke staat op de verlaten landbouwgronden. Omdat in 2050 het hestel nog niet is afgerond is het in 2050 te verwachten biodiversiteitsverlies nog groter (‘MSA verlies in 2050’). Voor het referentiescenario en alle dieetvarianten worden de biodiversiteitseffecten zonder en met klimaatbeleid getoond (‘Dieet’ en ‘Dieet 450 ppm’).

versiteit dan akkerland, is de ‘winst’ van de dieetvarianten voor de kwaliteit van het landgebruik (gemeten in biodiversiteit) relatief minder groot dan de winst gemeten in hectares land.

Bij de varianten die ook klimaatbeleid meenemen zijn de effecten van consumptieverandering iets kleiner, omdat hier de verlaten landbouwgrond ingezet is voor productie van bio-energie (Figuur 4). Het vermeden verlies bij volledig herstel van biodiversiteit is dan 1,6 tot 3,6% (voor respectievelijk *WillettDieet* en *GeenDierproducten*). Bij gedeeltelijk herstel bedragen deze cijfers 0,9 en 2,0% voor 2050. Het vermeden verlies kan groter zijn als in het klimaatscenario minder ingezet zou worden op bio-energie. Echter, hierdoor zou het klimaatbeleid wel weer duurder worden. Dit toont de complexiteit aan van de relaties tussen consumptie, klimaatbeleid en gevolgen voor land en biodiversiteit.

4 Discussie

Met behulp van het IMAGE model is een verkennende analyse uitgevoerd van de gevolgen van verminderde vleesconsumptie voor de broeikasgasuitstoot en kosten van klimaatbeleid. Hiervoor zijn vier theoretische varianten gemaakt op de FAO projectie voor de periode 2000-2050 (*referentie* scenario). Deze varianten zijn bedoeld om in te schatten wat het mondiale effect is van vermindering of verschuiving van de consumptie van dierlijke producten op de emissie van broeikasgassen en op biodiversiteit. Een van de scenarios onderzoekt hoe broeikasgasemissies zich ontwikkelen in een scenario met een gezond dieet met weinig vlees. In deze studie is rekening gehouden met directe uitstoot door veeveelt en indirecte gevolgen voor broeikasgasemissies door veranderingen in landgebruik. Herstel van natuurlijke vegetatie heeft namelijk gevolgen voor de koolstofopname. Bovendien leidt dit herstel over het algemeen tot grotere biodiversiteit.

Uit de analyse blijkt dat door vervanging van dierlijke door plantaardige eiwitten in het menselijke dieet de uitstoot van broeikasgassen effectief kan worden verminderd. Deze strategie is additioneel ten opzichte van de ‘conventionele’ strategieën als veranderingen in het energiesysteem, herbebossing en vermindering van niet-CO₂-emissies door mitigatietechnieken. Terwijl de gestileerde varianten goede illustraties zijn van het effect van forse veranderingen in het dieet, toont de *WillettDieet*-variant aan dat zelfs een wat beperkter scenario al significante effecten heeft op zowel klimaatverandering als de kosten van klimaatbeleid. Naast directe reducties in de uitstoot van CH₄ en N₂O, leidt de vermindering van vleesconsumptie ook tot een forse afname van het areaal landbouwgrond. Hierdoor kan land beschikbaar komen voor andere toepassingen, zoals bijvoorbeeld bio-energie of natuur. De keuze voor één van deze twee toepassingen heeft weer trade-offs naar biodiversiteit en kosten van klimaatbeleid. In ieder geval leidt de hergroei van vegetatie op deze verlaten landbouwgebieden tot een substantiële opname van CO₂, al neemt het effect op de koolstofkringloop weer af als een nieuw evenwicht is ontstaan. De mogelijkheden om klimaatdoelen te verwezenlijken via veranderingen in vleesconsumptie hebben als belangrijk bijkomend voordeel (synergie) dat een aanzienlijk deel van het te verwachten biodiversiteitsverlies vermeden kan worden (een vijfde tot een derde op lange termijn). Dat is relatief veel in vergelijking met eerdere analyses van opties voor het tegengaan van verder biodiversiteitsverlies (CBD en MNP, 2007), uitgevoerd in het kader van de 2e Global Biodiversity Outlook (CBD, 2006).

Er zijn grote onzekerheden in de verschillende onderdelen van het IMAGE-model. Met name de onzekerheden in het koolstofmodel zijn in hoge mate bepalend voor de uitkomsten in deze studie. Evaluatie van het koolstofmodel laat zien dat IMAGE-resultaten overeenstemmen met de nu beschikbare wetenschappelijke literatuur (Van Minnen, 2008). Van de verschillende factoren in de koolstofcyclus in IMAGE is de reactie van de biosfeer op een toenemende CO₂-concentratie (fertilisatie) de dominante factor voor uitkomsten op regionale en mondiale schaal, zoals ook in andere modelstudies is aangetoond (Sitch et al., 2005). Daarnaast is voor deze studie de onzekerheid in de mate en snelheid van koolstofvastlegging bij hergroei van natuurlijke vegetatie op verlaten graslandgebieden van groot belang. Het herstel van oorspronkelijke biodiversiteit zal in de verschillende ecosystemen met verschillende snelheden gebeuren. Voor bossen is waarschijnlijk een termijn van 100-150 jaar nodig (Pena-Claros, 2003; Alkemade et al., submitted). In graslanden kan een sneller herstel verwacht worden, vanwege de andere structuur en groeisnelheid van dit type vegetatie. De toegepaste hersteltijden voor graslanden zijn deels aannames en de resultaten moeten daarom vooral gezien worden als schattingen van de orde van grootte.

Verder zijn het potentieel en de kosten van verschillende emissiereductiemaatregelen belangrijke bronnen van onzekerheid. De kosten in IMAGE komen goed overeen met de verschillende schattingen zoals die te vinden zijn in de wetenschappelijke literatuur (Fisher et al., 2007). Daarnaast is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de robuustheid van de verschillende veronderstellingen over de kosten van diverse opties voor reductie van emissiereductie te onderzoeken (Van Vuuren et al., 2007). Hieruit bleek dat het effect van de meeste individuele opties op de totale kosten niet meer dan $\pm 10\%$ is tussen 2000 en 2050, met uitzondering van bio-energie. Als uitgegaan wordt van hoge potentiële schattingen voor bio-energie in combinatie met CO₂-afvang en -opslag, kunnen de emissiereductiekosten worden verminderd met ongeveer 40%. De onzekerheid bij een combinatie van alle opties leidde echter tot een onzekerheidsband van 40% lagere tot 100% hogere kosten in 2050. Omdat in deze studie de nadruk ligt op de relatieve kostenverschillen tussen het referentiescenario en de dieetvarianten, spelen deze onzekerheden een kleinere rol dan wanneer wordt gekeken naar de absolute kosten.

De onzekerheid in discontovoet heeft ook een substantieel effect op de absolute mitigatiekosten (Tabel 4). Hier geldt echter dat het gebruik van verschillende discontovoeten veel minder belangrijk voor het relatieve verschil dan het absolute verschil tussen de baseline en de varianten. De relatieve reducties van de mitigatiekosten in de dieetvarianten ten opzichte van het referentiescenario zijn veel minder afhankelijk van verschillende discontovoeten (Tabel 8).

De analyse die is uitgevoerd, is statisch. Dat wil zeggen dat er niet is gekeken naar mogelijke terugkoppelingen van dieetveranderingen op landbouw en economie. Zo zijn er transitiekosten verbonden aan het bereiken van een lagere vleesconsumptie. Daarnaast kunnen er ook effecten optreden op de grondprijzen en gewasopbrengsten, die leiden tot minder landwinst dan in deze studie berekend. Ook is geen rekening gehouden met een veranderend bestedingspatroon bij verminderde vleesconsumptie. Deze verandering in gedrag kan leiden tot meer uitstoot van broeikasgasemissies dan in deze studie berekend.

Bij het implementeren van beleid om minder vlees te consumeren zal inkomensderving bij producenten van vlees en melk een belangrijke barrière zijn. De mogelijke kosten die gepaard gaan met de hier aangenomen transitie in vleesconsumptie, kunnen de verwachte kostenreductie van klimaatbeleid gedeeltelijk compenseren.

Het is een belangrijke vraag hoe beleidsstrategieën kunnen worden ontworpen om tot een lagere consumptie van vlees, eieren en melk te komen. Waar sommige auteurs pleiten voor een speciale vleesbelasting om de vleesconsumptie te verminderen, geven anderen aan dat geen grote veranderingen kunnen worden verwacht van inzet van prijsmechanismen (Smil, 2002). In die zin kunnen gezondheidsoverwegingen, zoals overvoeding in ontwikkelde landen en specifieke gezondheidseffecten van vlees en gevogelte (Hu en Willett, 2002; Li et al., 2005), een extra argument zijn om de vleesconsumptie te verminderen. Hierdoor is de gezondheidsvariant uit deze studie als een meer 'realistische' variant te beschouwen dan de andere varianten.

De consumptie van vlees en melk neemt op dit moment snel toe in ontwikkelingslanden. Mogelijk kunnen deze ontwikkelingen nog worden beïnvloed voordat nieuwe tradities zijn gevestigd, die later moeilijk zijn te veranderen. In die zin is een verschuiving van rood naar wit vlees of andere eiwitbronnen in ontwikkelingslanden waarschijnlijk gemakkelijker te realiseren dan in de landen met een traditie van hoge consumptie van rood vlees. De conclusie is dat de voordelen van een verandering in het dieet voor klimaat belangrijk genoeg zijn om dit onderwerp op de politieke agenda te zetten en mogelijkheden voor dieettransities verder te verkennen.

Literatuur

- Aiking H, De Boer J, Vereijken J (eds) (2006) Sustainable Protein Production and Consumption: Pigs or Peas?, Springer, Dordrecht
- Alkemade J, Bakkenes M, Bobbink R, Miles, Nelleman C, Simons H, Tekelenburg T (2006) GLOBIO 3: Framework for the assessment of global terrestrial biodiversity. In: Bouwman AF, Kram T, Goldewijk KK (eds) Integrated modelling of global environmental change. An overview of IMAGE 2.4. Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP), Bilthoven, the Netherlands, p. 171-185
- Alkemade JRM, van Oorschot M, de Knegt B, Tekelenburg T (submitted) Global responses of species diversity to land use changes: A quantitative literature review
- Asner GP, Elmore AJ, Olander LP, Martin RE, Harris AT (2004) Grazing systems, ecosystem response, and global change. *Annual Review of Environmental Resources* 29:261-299
- Bouwman AF, Van der Hoek KW, Eickhout B, Soenario I (2005) Exploring changes in world ruminant production systems. *Agricultural Systems* 84:121-153, doi:10.1016/j.agsy.2004.10.05.1006
- Britain H.M. Treasury G (2003) The Green Book: Appraisal and evaluation in central government, London, TSO
- Bruinsma JE (2003) World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective, Earthscan, London
- CBD (2006) Global Biodiversity Outlook 2, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada
- CBD en MNP (2007) Cross-roads of life on earth. Exploring means to meet the 2010 biodiversity target. Solution-oriented scenarios for Global Biodiversity Outlook 2. CBD Technical Series 31, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.
- Crutzen PJ, Aselmann I, Seiler W (1986) Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna and humans. *Tellus* 38B:271-284
- Den Elzen M, Lucas P, 2005 (2005) The FAIR model: a tool to analyse environmental and costs implications of climate regimes. *Environmental Modeling and Assessment* 10:115-134
- Den Elzen MGJ, van Vuuren DP (2007) Peaking profiles for achieving long-term temperature targets with more likelihood at lower costs. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA (PNAS)* 104:17931-17936
- Ding E (2006) Optimal diets for the prevention of stroke. *Seminars in Neurology* 26:11-23
- Eickhout B, Elzen Md, Kreileman E (2001) The atmosphere-ocean system in IMAGE 2.2. Report No. 481508017, National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, the Netherlands
- European Communities (2006) Facts en figures on the CFP: Basic data on the Common Fisheries Policy, Office for Official Publications of the European Communities, Brussels
- FAO (2006) World agriculture: towards 2030/2050. Prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Global Perspective Studies Unit, Rome
- Fisher B, Nakicenovic N, Alfsen K, Corfee Morlot J, de la Chesnaye F, Hourcade J-C, Jiang K, Kainuma M, La Rovere E, Matysek A, Rana A, Riahi K, Richels R, Rose S, Van Vuuren D, Warren R, Ambrosi P, Birol F, Bouille D, Clapp C, Eickhout B, Hanaoka T, Mastrandrea MD, Matsuoka Y, O'Neill B, Pitcher H, Rao S, Toth F (2007) Issues related to mitigation in the long-term context. In: Metz B, Davidson O, Bosch P, Dave R, Meyer L (eds) Climate change 2007. Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York, p 169-250
- Forrest JC, Aberle ED, Hedrick BB, Judge MD, Markel RA (1995) Principle of meat Science, W.H. Freeman and Co., San Francisco
- Hoogwijk M (2004) On the global and regional potential of renewable energy sources. PhD thesis Utrecht University, Utrecht University, Utrecht
- Hu FB, Willett WC (2002) Optimal diets for prevention of coronary heart disease. *Journal of the American Medical Association* 288:2569-2578
- Hulme M, Wigley T, Barrow E, Raper S, Centella A, Smith S, Chipanski A (2000) Using a climate scenario generator for vulnerability and adaptation assessments: MAGICC and SCENGEN version 2.4 workbook, Climate Research Unit, Norwich, UK
- IEA (2006) World energy outlook 2006, International Energy Agency, Paris
- IPCC (2001) Third assessment report. Working Group I, Vol. Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC (2007) Climate change 2007. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (edited by Solomon, S., Chin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M.M.B., Le Roy Miller jr., H., Chen, Z.), Cambridge University Press, New York
- Kantor LS, Lipton, K., Manchester, A., Oliveira, V. (1997) Estimating and Addressing America's Food Losses. *Food Review* Jan-April 1997:1-12
- Klein Goldewijk K, Van Minnen JG, Kreileman GJJ, Vloedveld M, Leemans R (1994) Simulation of the carbon flux between the terrestrial environment and the atmosphere. *Water, Air and Soil Pollution* 76:199-230
- Leemans R, Van den Born GJ (1994) Determining the potential global distribution of natural vegetation, crops and agricultural productivity. *Water, Air and Soil Pollution* 76:133-161
- Leemans R, Eickhout B, Strengers B, Bouwman AF, Schaeffer M (2002) The consequences of uncertainties in land use, climate and vegetation responses on the terrestrial carbon cycle. *Science in China (Series C)* 45 Supp.:126-141
- Li D, Siriamornpun S, Wahlqvist ML, Mann NJ, Sinclair AJ (2005) Lean meat and heart health. *2005;14:113-9. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 14
- Lucas P, Van Vuuren DP, Olivier JGJ, Den Elzen MGJ (2006) Long-term reduction potential of non-CO2 greenhouse gases. *Environmental Science and Policy* 10:85-103
- McMichael A, Powles JW, Butler CD, Uauy R (2007) Food, livestock production, energy, climate change, and health. *The Lancet* (published online September 13, 2007) doi:10.1016/S0140-6736(07)61256-2
- Meinshausen MBH, Tom M. M. Wigley, Detlef Van Vuuren, Michel G. J. Den Elzen, Rob Swart (2006) Multi-gas Emissions Pathways to Meet Climate Targets *Climatic Change* 75:151-194
- MNP (2006) Integrated modelling of global environmental change. An overview of IMAGE 2.4. Report 500110002, Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP), the Netherlands
- MNP en OECD (2008) Background Report to the OECD Environmental Outlook to 2030: overviews, details, and methodology of model – based analysis, Report 500113001, Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP) and Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
- Myrold DD, Tiedje JM (1985) Diffusional constraints on denitrification in soil. *Soil Science Society of America Journal* 49:651-657
- Nordhaus WD (2007) The challenge of global warming: Economic models and environmental policy, Yale University, New Haven, Connecticut USA
- OECD (2008) OECD environmental outlook to 2030, Vol 2008. Organization for Economic Cooperation and Development, OECD, Paris
- Pena-Claros M (2003) Changes in Forest Structure and Species Composition during Secondary Forest Succession in the Bolivian Amazon. *BIOTROPICA* 35:450-461
- Prentice IC, Cramer W, Harrison S, Leemans R, Monserud RA, Solomon AM (1992) A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography* 19:117-134
- Schlesinger ME, Malyshev S, Rozanov EV, Yang F, Andronova NG, De Vries B, Grübler A, Jiang K, Masui T, Morita T, Nakicenovic N, Penner J, Pepper W, Sankovski A, Zhang Y (2000) Geographical distributions of temperature change for scenarios of greenhouse gas and sulphur dioxide emissions. *Technological Forecasting and Social Change* 65:167-193

- Šebek L, Kuikman P, Vriesekoop P (2008) Klimaat en veehouderij. Inzichten vanuit het onderzoek van Wageningen UR, mede naar aanleiding van de film 'Meat the Truth'. Wageningen UR.
- Sitch S, Brovkin V, Von Bloh W, Van Vuuren D, Eickhout B, Ganopolski A (2005) Impacts of future land cover changes on atmospheric CO₂ and climate. *Global Biogeochemical Cycles*, doi:10.1029/2004GB002311.
- Smil V (2002) Eating meat: Evolution, patterns, and consequences. *Population and Development Review* 28:599-639
- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan C (2006) Livestock's long shadow. Environmental issues and options, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- Stern N (2006) The economics of climate change, the Stern review, Cambridge University press, Cambridge, UK
- Van Minnen JG (2008) The terrestrial carbon cycle on the regional and global scale. Modeling, uncertainties and policy relevance, Vol. PhD thesis. Wageningen University Research Centre (WUR), Wageningen
- Van Minnen JG, Leemans R, Ihle F (2000) Assessing consequences of dynamic changes in global vegetation patterns, using the IMAGE 2.1 model. *Global Change Biology* 6:595-611
- Van Vuuren DP, Den Elzen M, Lucas P, Eickhout B, Strengers B, Van Ruijven B, Wonink S, Van Houdt R (2007) Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change*, doi 10.1007/s10584-006-9172-9
- Van Vuuren DP, Van Ruijven B, Hoogwijk MM, Isaac M, De Vries HJM (2006) TIMER 2: Model description and application. In: Bouwman AF, Kram T, Klein Goldewijk K
- WCRF en AICR (2007) Food, Nutrition, Physical Activity and the Prevention of Cancer, a Global Perspective. World Cancer Research Fund / American Institute for Cancer Research, Washington D.C. AICR
- Weitzman M (2001) Gamma discounting. *American Economic Review* 91:261-271
- Weyant J, Delacheynaye P, Blanford G (2006) An overview of EMF-21: multigas mitigation and climate change. *Energy Journal Special Issue #3*:1-32
- Willett WC (2001) Eat, drink, and be healthy: The Harvard Medical School Guide to Healthy Eating, Simon & Schuster, Inc.

Minder vlees kan een behoorlijke bijdrage leveren aan klimaatbeleid

Wereldwijd is de veeteeltsector verantwoordelijk voor een aanzienlijk deel van de broeikasgasemissies. Daarnaast staat ongeveer 80% van de mondiale landbouwgrond ten dienste van veeteelt. In deze studie is een analyse uitgevoerd van de gevolgen van verminderde vleesconsumptie voor de broeikasgasuitstoot en kosten van klimaatbeleid bij het bereiken van ambitieuze klimaatdoelstellingen.

Gebruikmakend van het IMAGE-model kan worden geconcludeerd dat een mondiale afname van vleesconsumptie, of zelfs een volledige overgang naar een vegetarisch dieet een behoorlijke bijdrage kan leveren aan vermindering van broeikasgasemissies. Dit komt vooral door het sterke effect op landgebruik en de koolstofcyclus, voornamelijk via een sterke daling van het mondiale graslandareaal, en door de vermeden emissies van methaan en lachgas. De veranderingen in landgebruik hebben eveneens een positief effect voor de mondiale biodiversiteit.

Bij een ambitieuze klimaatdoelstelling zouden de kosten van klimaatbeleid bij een lagere vleesconsumptie over de periode 2000-2050 minstens 50% lager uitvallen dan bij voortzetting van het huidige consumptiepatroon. Hierbij moet echter worden aangetekend dat in deze studie verondersteld is dat de transitie naar lagere vleesconsumpties geen kosten met zich meebrengt.

Dieetverandering heeft dus niet alleen een aanzienlijke invloed op broeikasgasemissies en mondiaal landgebruik, maar kan ook een belangrijke bijdrage aan toekomstig klimaatbeleid leveren.