

KLIMAATVERANDERING EN DE FUNCTIES VAN HET LANDELIJK GEBIED



landbouw, natuurbeheer
en visserij

Deze studie is verricht in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij

KLIMAATVERANDERING EN DE FUNCTIES VAN HET LANDELIJK GEBIED

LNV Agenda Klimaat

A.J. Dolman, P. Kabat, E.C. van Ierland, R.W.A. Hutjes (editors)



||
f
B
C
h
T
i
U
C



Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2000

REFERAAT

A.J. Dolman, P. Kabat, E.C. van Ierland, R.W.A. Hutjes (editors) , 2000. *Klimaatverandering en de functies van het landelijk gebied (LNV Agenda Klimaat)* Wageningen, ALTERRA Research Instituut voor de Groene Ruimte, rapport 082, pp. 96, tabellen, figuren

In het kader van het project LNV-Agenda Klimaat zijn een drietal verkennende studies gedaan naar de relaties tussen mogelijke klimaatverandering en de functies van het landelijk gebied in Nederland. Doel daarvan is de discussie te bevorderen over de betekenis van klimaatverandering voor het beleidsterrein van LNV en de mogelijke bijdragen die de sectoren van de Nederlandse landbouw kunnen leveren aan het verminderen van de netto uitstoot van broeikasgassen. Ook wordt aandacht besteed aan het in te zetten beleidsinstrumentarium en de afstemming met andere genoemde vraagstukken van de landbouw en de ontwikkeling van het landelijk gebied. In deel 1 wordt in de vorm van een essay een mogelijk toekomstbeeld geschetst van de Nederlandse landbouw in 2100, als eindpunt van een ontwikkeling gericht op productie die neutraal is met betrekking tot de uitstoot of opname van broeikasgassen. In deel 2 wordt in de vorm van een quickscan de gevolgen verkend van mogelijke klimaatveranderingen op de verschillende functies van het landelijk gebied: natuur en bos, landbouw, visserij, en recreatie in Nederland; en voedselvoorziening, tropische bossen, biodiversiteit en landdegradatie buiten Nederland. In deel 3 worden de socio-economische aspecten van klimaatverandering en landbouw nader onderzocht, zoals kosten/baten analyses van verschillende broeikasgas reductieopties, of de mogelijkheden van Flexibele Instrumenten bij het behalen van de Kyoto doelstellingen.

Keywords: klimaatverandering, post-Kyoto beleid, landbouw, veeteelt, bosbouw, natuurbeheer, visserij

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 40,00 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 082. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten

©2000 ALTERRA Research Instituut voor de Groene Ruimte
Postbus 47, 6700 AA Wageningen
Telefoon (0317) 474200; fax (0317) 419000; email: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van ALTERRA.

ALTERRA aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van deze studie of toepassing van de adviezen.

INHOUD

Essay:

**NAAR EEN BROEIKASNEUTRALE LANDBOUW EN NATUUR
IN NEDERLAND IN 2100**

7

Quikckscans:

**EFFECTEN VAN KLIMAATVERANDERING OP DE VITALITEIT
VAN DE FUNCTIES IN HET LANDELIJK GEBIED**

17

**SOCIO-ECONOMISCHE ASPECTEN VAN KLIMAATVERANDERING
EN LANDBOUW **63****

NAAR EEN BROEIKASNEUTRALE LANDBOUW EN NATUUR IN NEDERLAND IN 2100

Essay LNV Agenda Klimaat

A.J. Dolman, A.N. van der Zande

(Alterra)

1. HET WAAROM	11
2. NAAR EEN ENERGIE VRIENDELIJKE LAND- EN TUINBOUW	11
2.1 Nieuwe vormen van voedsel (productie) en materialen	12
2.2 Besparingen in de Logistiek	13
2.3 Sinks en natuurontwikkeling	13
2.4 Strijd om water	14
2.5 Strijd om ruimte	14
2.6 Reducties in overige broeikasgassen: CH₄ en N₂O	14
2.7 Creatieve oplossingen buitenshuis	15
3. NEDERLAND IN 2100	15

NAAR EEN BROEIKASNEUTRALE LANDBOUW EN NATUUR IN NEDERLAND IN 2100

1. Het waarom

Het klimaat verandert: naar waarschijnlijk is door menselijk ingrijpen. Om deze veranderingen tot stilstand en onder controle te brengen streven de geïndustrialiseerde landen naar een plafond in hun CO₂ emissies zodanig dat de CO₂ concentraties in de atmosfeer niet boven twee maal het preïndustriële niveau van 225 ppm uitstijgen. Om dit te bereiken is een mondiale beperking in emissies nodig van zo'n 50% ten opzichte van het niveau van 1990. **Voor de geïndustrialiseerde landen betekent dit een reductie van 80%.** Dit laat nog voldoende ruimte voor redelijke welvaartsgroei in de niet geïndustrialiseerde landen. De klimaatproblematiek heeft de potentie om de bestaande Noord Zuid verhoudingen verder onder druk te zetten. Om de enormiteit van de reductieinspanning te illustreren voldoet een blik op de impact van het huidige klimaatbeleid: in de periode 1990-1997 is de emissie van CO₂ niet volgens doelstelling afgenomen, maar juist toegenomen met 7%. Gelijkblijvende energieprijzen, relatief sterke groei van energie intensieve sectoren en een sterke consumptiegroei zijn hiervoor de belangrijkste oorzaken. De doelstelling in de vervolgnota klimaatverandering is om van 2000 tot 2020 de emissie met 2% per jaar te laten dalen.

Om in de volgende eeuw grote reducties in de emissies van vooral CO₂ te bewerkstelligen zullen grote veranderingen in energie gebruik moeten plaatsvinden. Daarnaast zullen mogelijkheden moeten worden onderzocht om grootschalig en langdurig CO₂ af te vangen en op te slaan. In recente scenario's wordt berekend dat 40% van de benodigde hoge reductie kan worden bereikt door ondergrondse opslag. Deze en andere maatregelen raken beleidsterreinen van LNV, zoals glastuinbouw (voor 75 % verantwoordelijk voor het totale energiegebruik in de landbouw), maar ook de ruimtelijke ordening en daarmee de vitaliteit in het landelijk gebied. In twee quick scans zijn de verwachte gevolgen op ecologisch en economisch gebied van het huidige en mogelijk toekomstig klimaatbeleid op rij gezet. In dit essay wordt op basis van die analyses verder gekeken: wat zijn er voor systeeminnovaties¹, nieuwe technieken, mogelijk in het landelijk gebied en andere beleidsterreinen van LNV, die genoemde grote reductiedoelstelling een reële optie maken.

Bij grote reductiedoelstellingen zullen systeeminnovaties ontwikkeld moeten worden met als primair uitgangspunt een verhoogde koolstof- en energieefficiëntie. Dit vraagt om innovaties op vier gebieden: Energie, Transport, Voeding en Land- en ruimtegebruik. Binnen deze vier gebieden spelen nationale en internationale (EU) dimensies. Cruciaal is de constatering dat 80% van de Europese bevolking op 20% van het grondgebied langs de grote rivierdelta's woont. In Nederland vindt men 80% van de werkgelegenheid op 40% van het oppervlak. De strijd om ruimte in Nederland beperkt de mogelijkheden tot bijvoorbeeld het gebruik van biosfeer als CO₂ opslag enorm, op Europese schaal is echter bosaanplant als CO₂ vastlegging wel degelijk een optie. Nederlandse expertise kan in internationale onderhandelingen wel een beslissende rol spelen.

Systeeminnovaties dienen dus in die Europese context afgewogen te worden. **Kansen voor LNV zijn er, naast beperking van de nationale emissies van broeikasgassen, vooral op het gebied van de ontwikkeling en export van nieuwe duurzame productie technieken en kennis.** De uitdaging is om vanuit het kennisrijke, maar ruimtearme Nederland gestalte te geven aan die ontwikkeling. Dit vergt bovenal innovaties in maatschappelijke sturing. Zo lijkt de ontwikkeling van windenergie in Denemarken niet zozeer het gevolg van een brede maatschappelijke discussie over duurzame energie, maar veeleer het gevolg van een jarenlang opbouw van een netwerk van producenten en consumenten, kennis en ruimtelijke ordening. Stimulering van alternatieve technologieën en kennisnetwerken in een vroegtijdig stadium, ruim voordat democratische discussies zijn uitgewoed, lijkt bij deze ontwikkeling cruciaal te zijn geweest.

2. Naar een energie vriendelijke land- en tuinbouw

¹ Door de Nationale Raad van Landbouwkundig Onderzoek worden systeeminnovaties gedefinieerd als "bedrijfs- en organisatieoverstijgende vernieuwingen die door uiteenlopende belanghebbenden gezamenlijk gerealiseerd worden, die de inbreng van uiteenlopende soorten van kennis en vaardigheden vergen, en die de verhoudingen tussen belanghebbende partijen ingrijpend veranderen". Kernwoorden bij systeeminnovaties zijn cultuuromslag, lange tijdshorizon, en integrale benadering.

Het terugdringen van het energiegebruik is cruciaal bij het halen van grote reductiedoelstellingen. In de totale landbouwsector wordt geschat dat het technisch potentieel voor efficiëntieverbetering op 76% ligt. Wordt hierbij de economische haalbaarheid betrokken dan ligt dit nog rond de 50%. 75% van het energiegebruik in de landbouw vindt plaats in de glastuinbouw. Grote winst in het energieverbruik is dus vooral daar te halen, maar ook bij de bouw van nieuwe veehouderijen kan substantieel energie bespaard worden, bijvoorbeeld door gebruik te maken van de metabolische warmte van vee in de stal van de toekomst.

Het huidige ingezette beleid (clustering, restwarmte, warmtekrachtkoppeling) draagt weliswaar bij aan het halen van de Kyoto doelstellingen, maar is bij lange na niet genoeg voor de lange termijn. Op termijn zijn er drie technische mogelijkheden: gebruik van schonere en duurzame bronnen van energie, zoals bijvoorbeeld biomassa, windenergie, zonenergie en waterstof, ontkoling van fossiele brandstoffen en energieefficiëntieverbetering. Verbetering van de efficiëntie kan in zijn algemeenheid 50 tot 80% winst opleveren. De conversieefficiëntie van brandstoffen in het Westen is 33%, en dit zou opgevoerd kunnen worden naar 50 tot 70% door middel van bijvoorbeeld warmtekrachtkoppeling en warmtepompen. Totaal zou dit pakket uitkomen op 75% reductie in energieverbruik en emissie van CO₂ in de landbouw.

Hernieuwbare energiebronnen zijn biomassa, en zon- en windenergie. Het gebruik van zonenergie en energiewinning uit afval en biomassa is een ontwikkeling die reeds in gang is gezet. Bij het reduceren van grote reductiedoelstellingen is de toepassing van biomassa met de daarbijbehorende claims op landgebruik in Nederland niet voldoende. Op kleinere schaal kan het hergebruik van snoeiafval bijdragen leveren aan energievoorziening, zeker als de restwarmte efficiënt benut kan worden. Voor grootschalige toepassing in de toekomst zal import uit het buitenland moeten plaatsvinden. Hierbij dient men zich te wel realiseren dat grootschalig verbouw van biomassa in het buitenland, gezien de benodigde ruimte, gepaard zal gaan met ontbossing en landgebruikverandering. Het is dan de vraag of het middel niet erger is dan de kwaal. Wel kunnen win-win situaties ontstaan. In laaggelegen delen in Azië zouden op grote schaal mangrovebossen kunnen worden hersteld. Dit levert een enorm potentieel aan biomassa op, maar wellicht belangrijker, kan door vertraging en demping van vloedgolven, een belangrijke bijdrage leveren aan de veiligheid van laaggelegen kuststreken. Nationaal en internationaal kunnen doelstellingen en innovaties dus verschillend uitwerken.

Op korte termijn is de inzet van windenergie technisch de meest aantrekkelijke optie.

Boeren kunnen bovendien extra financiële stimuli ondervonden door levering van overschotten aan het landelijke net. Voor grootschalige toepassing van zonenergie zal de omzettingsefficiëntie van zonnepanelen nog aanzienlijk verder verbeterd moeten worden wil het een substantiële bijdrage aan emissiereductie leveren. Met de huidige technologie kan een geringe winst (10-15%) vooral in de huishoudelijke energievoorziening worden gemaakt. Blue chips, conversiecellen die een breed spectrum van zonenergie kunnen benutten, zijn een mogelijke beloftevolle ontwikkeling.

Naast deze duurzame vormen van energie is de verwachting dat grootschalige opslag van CO₂ een belangrijk aandeel zal zijn in de binnenlandse reductieemissie (nog 40%). Verbetering van het energiegebruik in de landbouw is een typisch voorbeeld van systeeminnovatie: het gaat over meerdere belanghebbenden en vergt een grote dosis kennis en lange adem. Specifiek toegesneden op de landbouwsectoren kan het een bijdrage in reductie leveren die in de buurt van de 50% kan komen. Kennisontwikkeling en het opstarten van demonstratie/feasibility projecten op bedrijfsniveau is een eerste stap. **Daarnaast zou de regelgeving rondom de liberalisering van de energiewet meer toegesneden dienen te worden op stimulering van duurzame energie en zullen bij de bouw van nieuwe bedrijven specifieke energie-reductiedoelstellingen moeten worden gehaald.**

2.1 Nieuwe vormen van voedsel (productie) en materialen

Technologische ontwikkelingen in genetische manipulatie maken het mogelijk gewassen te kweken die efficiënter omgaan met het zonlicht en een hogere water use efficiëntie halen. Nog verder gaan innovaties op het gebied van het verkorten van productieketens. Technisch is het binnen afzienbare tijd mogelijk om plantaardige eiwitten te produceren uit ruwe, al dan niet gefossiliseerde biomassa. Deze "Novel proteins" zijn, doordat er geen dierlijke tussenproducenten worden gebruikt, vele malen energie efficiënter dan de dierlijke eiwitten. Zo is het al mogelijk zijn om eiwitten direct uit grassen te halen, zonder tussenkomst van de koe of andere hogere diersoorten. Deze ontwikkelingen leveren

besparingen op in de energie die nodig is voor het eindproduct. Zo lijkt een factor 4 winst haalbaar indien de koe wordt uitgeschakeld als vlees producent. Gegeven deze mogelijkheden en de milieubelasting van intensieve veehouderij lijkt er op termijn Nederland meer plaats voor intensieve agro-industrie dan voor veehouderij. **Een consequentie van deze ontwikkeling is dat de het Hollandse landschap het in de toekomst wellicht zonder de bekende Friese melkvee koe moet doen.**

Biomassa producten kunnen door **cascading** efficiënter gebruikt worden. Nu worden vaak gewassen gekweekt voor een enkele toepassing. Wordt echter de plant in zijn gebruikt dan wordt per hectare een enorme winst in efficiëntie gehaald (**Integrated Plant Conversion**). Bij cascading wordt bijvoorbeeld eerst de vezel van de plant een aantal malen gebruikt en verwerkt, waarbij aan het eind de afvalresten gebruikt worden voor de opwekking van energie. Ook hier is een beter gebruik van natuurlijke grondstoffen een reële optie. De energiewinst is in de orde van tientallen procenten te schatten.

2.2 Besparingen in de Logistiek

40% van het transport in Nederland vindt plaats voor agro doeleinden. Twee mogelijkheden zijn hier aanwezig om de CO₂ uitstoot hiervan te verminderen. De eerste is ontwikkeling van energievriendelijker transport middelen. De tweede heeft betrekking op de organisatie van de logistiek. Het eerste is een innovatie die zich grotendeels buiten het directe blikveld van landbouw afspeelt, maar op termijn erg belangrijk zal zijn. Het tweede kent globaal twee opties, verkorting van productie ketens, of efficiënter transport. Terugdringen van transport en agrologistiek zal innovatie vergen in transport efficiëntie en bij elkaar brengen van producten en productieketens. **Een ontwikkeling waarbij de eerste verwerking van producten dichtbij de bron van aanvoer van ruwe materialen (b.v. biomassa) zal plaatsvinden, en opgewerkte hoogwaardiger materialen in bulk naar de consumenten regio's worden gebracht ter verdere verwerking, is onvermijdelijk.** Tegelijkertijd zal er een maatschappelijk draagvlak moeten worden gecreëerd waarbij agroproducten met een lage CO₂ last de voorkeur krijgen van de consument boven producten met hoge last.

2.3 Sinks en natuurontwikkeling

Nederland ontwikkeld zich meer en meer in een grote stad, met een centrum van wonen en werken in een uitgebreide metropool rondom Randstad, met daarom heen een aantal meer perifere gebieden waar natuur voor recreatiedoeleinden en bijvoorbeeld drinkwaterwinning blijft bestaan. In de natuurgebieden zal een dynamische wisselwerking met water ontstaan, met ruimte voor zee en rivier.

De beperkte ruimte in Nederland maakt CO₂ vastlegging in landschappen op grote schaal problematisch. Grootschalige verving en bebossing waar mogelijk levert volgens simpele berekeningen slechts een beperking van 6 tot 8% in de totale uitstoot op. In Nederland kan het omdraaien van de ontwatering van veenweide gebieden op korte termijn een dubbele bijdrage leveren aan CO₂ reductie doordat bovenal de huidige uitstoot door oxidatie wordt verminderd. Op lange termijn kan er door het tot leven gebrachte veen daadwerkelijk weer CO₂ worden vastgelegd. Deze projecten zijn vaak alleen haalbaar als er ook andere belangen mee kunnen worden geassocieerd, zoals toename in waterberging en tegengaan van verzilting in kustgebieden. Dit kan vooral in de lager gelegen droogmakerijen gestimuleerd worden. Hierdoor ontstaan typische win-win situaties. Op lange termijn ligt er een grote kans voor nieuwe vormen van landgebruik en ruimtelijke invulling.

In Europa zijn de mogelijkheden voor herbebossing bij lange na niet uitgeput en mag verwacht worden dat een nadrukkelijker aandacht voor bebossing en verving een substantiële bijdrage aan de reductie kan leveren. Op dit moment wordt geschat dat de biosfeer in Europa zo'n 0.3 Gt koolstof per jaar vastlegt, voor het merendeel in bossen. Dit is 30% van de totale EU uitstoot. In de ruimere internationale context zullen de flexibele instrumenten (Emission trading, Joint Implementation, Clean Development) steeds belangrijker worden.

Landgebruik zal niet langer op alleen economische normen en waarden, of die van biodiversiteit worden geëvalueerd, maar ook op de klimaatdimensie. De combinatie van klimaatdoeleinden en biodiversiteit kan onverwachte synergie opleveren. **Niet de instandhouding van enkele soorten**

staat langer centraal, maar de aanpassingskracht van ecosystemen aan een veranderend klimaat. Dit kan andere prioriteiten tot gevolg hebben in met name natuurontwikkeling, of de structuur van de Groene Ruimte: tuinieren op de hectare om natuurdoeltypen te realiseren is niet de meest geschikte activiteit om de gevolgen van klimaatverandering en menselijk ingrepen te herstellen.

2.4 Strijd om water

Trendbreuken in het denken en omgaan met water zijn noodzakelijk. Voorrang zal moeten worden gegeven aan hoogwaardige toepassingen, en in de strijd om de beschikbaarheid van water zullen maatschappelijke sectoren onderling prioriteiten moeten stellen. Toename van neerslag in de winter leidt tot hogere gebiedsafvoer, hogere waterbezwaren en mogelijk hogere wateroverlast bij extreme buien. In de zomer kan lage waterstand in de rivieren leiden tot tekorten in de watervoorziening in het westen van het land dat afhankelijk is van wateraanvoer via de grote rivieren. Buffering en opslag zijn de uitdagingen voor het waterbeheer in de 21^e eeuw. De inrichting van het landelijk gebied komt hierbij ter discussie te staan. Bij dynamisch kustbeheer onder omstandigheden van bodemdaling en zeespiegelstijging ontstaan grote gebieden met verziltend water. Voor landbouw en natuur is hier de uitdaging een systeem van zilte landbouw of natuurontwikkeling te ontwikkelen en in samenhang met anderen de veiligheid voor bewoners te blijven garanderen.

2.5 Strijd om ruimte

Ruimtelijk planning ontwikkelt zich steeds meer in de richting van duurzaam voorraadbeheer. Het gaat dan zowel om kwantitatieve als kwalitatieve aspecten van voorraden: kwaliteit van de leefomgeving als ook beschikbaarheid van ruimte. Koppeling van de voorraden van ruimte, energie en b.v. biodiversiteit en landschap kan nieuwe planningsvormen doen ontstaan en zo de vitaliteit van het landelijk gebied verhogen.

Innovatie kan worden bereikt door de integratie van functies (multi functionele landbouw) en het daarmee gelijktijdig reduceren van lange productie ketens en hoge transport lasten. Zo kunnen initiatieven om combinaties van glastuinbouw en wonen te gaan creëren in het landelijk gebied gestimuleerd worden, maar ook meer creatieve, zoals gecombineerde varkensmesterijen met tuinbouw, waarbij relatief korte en meer gesloten kringlopen van energie, afval en nutriënten worden gecreëerd. Op deze wijze kunnen hoogkwalitatieve landbouwsectoren bijdragen aan hoge reductiedoelstellingen in hun emissies, ergo, **bij nieuwe planning zullen de emissiereductie doelstellingen nadrukkelijk betrokken worden.**

Omdat aspecten van integratie vaak op gespannen voet staan met traditionele verdelingen in functies/sectoren, zal de overheid een taak hebben dit proces te sturen. **Nieuwe maatschappelijke sturingsarrangementen, waarin belangengroepen direct onderhandelen met elkaar en met regionale en lokale overheden, zullen moeten worden ontwikkeld.**

Naast een bijdrage aan natuurbeheer, zoals in het huidige natuurbeleid wordt gestimuleerd, ligt het voor de hand dat aan boeren een bijdrage gevraagd kan worden in de koolstofvastlegging. Incentives vanuit de Europese Unie om milieubelasting terug te dringen bieden hier mogelijke financiële prikkels. Op termijn kan een innovatief systeem van “koolstof farming” ontstaan waarbij bewust bij teeltmethoden naar duurzame koolstofvastlegging in de bodem wordt gestreefd.

2.6 Reducties in overige broeikasgassen: CH₄ en N₂O

Gerichte maatregelen in het landgebruik en de (landbouw)bedrijfsvoering kunnen ook ingezet worden voor vermindering van de uitstoot van met name lachgas en methaan. Reducties in methaanemissies kunnen bewerkstelligd worden door beter verbeterde mestopslag en vernieuwd veevoer. Dit vergt bedrijfsinnovaties in stalontwerp, mestopslag, beweidingssystemen en toedieningstechnieken voor mest. Met het huidige ingezet beleid rondom mestbeleid wordt geschat wordt dat extra simpele bedrijfsmaatregelen voor een reductie van 20 tot 40% kunnen zorgen in lachgas. Dit betreft beter (her)gebruik van gewasresten en verfijndere mesttoediening. **Op termijn blijft het vooral de CO₂ problematiek die de aandacht vergt en is het gerechtvaardigd te vragen of van overige**

broeikasgassen nog meer reductie verlangd moet worden. Verkleining van de veestapel het areaal akkerbouw zal sowieso het aandeel van deze emissies verkleinen.

2.7 Creatieve oplossingen buitenshuis

De grootste inspanning moet geleverd worden op het gebied van het reduceren van de behoefte aan fossiele brandstoffen. Hiervoor zijn grote, maar haalbare innovaties nodig, niet alleen in de landbouw maar vooral daarbuiten. Landbouw kan “meeliften” en de innovaties toepassen in haar bedrijfs- en productcultuur. Dat is echter niet voldoende. De inzet van flexibele instrumenten zal naar verwachting een grote bijdrage moeten blijven leveren aan het halen van de reductiedoelstellingen voor 2050. De Nederlandse situatie is binnen Europa in zoverre uniek dat er hoog potentieel aan innovatie bestaat op een kleine ruimte. Deze innovaties kunnen belangrijke bijdragen leveren aan het halen van reducties in broeikasgasemissies buiten Nederland. **Het is dus van belang niet te eng naar het effect van innovaties op de reductie van emissies in Nederland te kijken, maar ook naar de mogelijkheden voor export van die innovaties.** Capacity building en kennisoverdracht zullen een steeds belangrijker plaats in gaan nemen.

3. Nederland in 2100

Nederland is verworven tot een grote metropool met als centrum de Randstad, omgeven door gebieden waar natuurontwikkeling in dynamische interactie met rivier en zee tot stand is gekomen. De intensieve vormen van veehouderij zijn vrijwel uit het landschap verdween. In het Westland staat duurzame en klimaatneutrale glastuinbouw. Vanuit het buitenland is grote belangstelling voor deze duurzame innovatie. In de oude veenweidegebieden is het veen weer aan het groeien. Voormalige akkerbouw en veeteeltgronden zijn in gebruik voor recreatie en biomassa productie. Vezelverwerkende industrie en energieopwerking zijn in geïntegreerde ketens verbonden. Het transport in de agro-industrie betreft duurzame, hoogwaardige materialen, met een hoge efficiency. De consument heeft de voorkeur gegeven aan kunstmatige eiwitten in het voedsel en eet hoogstens een enkele maal nog vlees van een koe of varken. Vlees productie vindt vooral plaats in de dun bevolkte gebieden in Frankrijk en Oost Europa. De BTW heeft plaatsgemaakt voor de TMB, de Toegevoegde Milieu Belasting

Kan het ?

In het bovenstaande worden een aantal ontwikkelingen geschetst op het terrein van LNV die grote reducties in de emissie van voornamelijk CO₂ tot gevolg kunnen hebben. In principe lijkt het technisch mogelijk om op de genoemde gebieden Energie, Voedsel/Materialen, Logistiek en Ruimtegebruik een reductie in energieverbruik te realiseren van tegen de 50%. Op het gebied van energiebeheersing, voedingstechnologie, maar ook in logistiek en ruimtelijke planning zullen grote (systeem)innovaties moeten plaatsvinden. Onhaalbaar zijn deze niet, zoals gezegd. Wel zal het maatschappelijke draagvlak gecreëerd moeten worden om de hoge kosten die deze ontwikkelingen vergen (2-3% van het BNP) en de maatschappelijke aanvaarding van nieuwe technologieën te schragen. **Er zijn gevolgen voor landbouw sectoren als veehouderij en akkerbouw, maar ook voor het waterbeheer en natuurontwikkeling . Op termijn lijkt er in Nederland slechts plaats voor hoog intensieve, kennisrijke en duurzame vormen van grondgebonden landbouw, waarbij claims op de beschikbare ruimte klein zijn, zoals de glastuinbouw en bloembollenteelt.** De vraag doemt onvermijdelijk op of het zinnig is veel mentale energie en geld te stoppen in het energievriendelijk maken van sectoren die niet duurzaam (te krijgen) zijn. Het oplossen van deze conflicten en agrarisch economische vraagstukken vraagt om afstemming in internationaal verband (EU, GATT). Nieuwe maatschappelijke discussievormen zullen ontwikkeld moeten worden om deze grote veranderingen gestalte te geven.

EFFECTEN VAN KLIMAATVERANDERING OP DE VITALITEIT VAN DE FUNCTIES IN HET LANDELIJK GEBIED

Quickscan LNV-Agenda Klimaat

P. Kabat, R.W. A. Hutjes, B. Kruijt, G.J. Nabuurs, L.W.G. Higler,
P.J. van der Meer, M.J. Schelhaas (ALTERRA)
E.C. van Ierland (WU-ME)
A.H.C.M. Schapendonk, A. Verhagen (Plant Research
International)
R. A. Feddes (WU-WHH)
W. Sombroek (ISRIC)

EFFECTEN VAN KLIMAATVERANDERING OP DE VITALITEIT VAN DE FUNCTIES VAN HET LANDELIJK GEBIED

1. VOORWOORD	21
2. HET KLIMAAT IN NEDERLAND IN 2050	23
Het Landelijk gebied en het klimaatsysteem	24
3. EFFECTEN VAN KLIMAATVERANDERING OP DE FUNCTIES VAN HET LANDELIJK GEBIED	25
3.1. Effecten van klimaatverandering op diverse typen natuur	25
3.1.1. Effecten van klimaatverandering op bos	26
Korte termijn effecten op bos	26
Lange termijn effecten op bos	26
Natuurlijke verstoringen onder klimaatverandering	
Brand	29
Storm	29
3.1.2. Effecten van klimaatverandering op het ecosysteem Waddenzee	30
3.1.3. Gevolgen van klimaatverandering op beken en stroomgebieden	31
3.1.4. Gevolgen van klimaatverandering op overige ecosystemen	32
3.1.5. Discussie	32
Kennishiaten	32
Het natuur- en bosbeleid in relatie tot klimaatverandering	32
3.2. Effecten op landbouwproductie in Nederland	33
3.2.1. Hoofdlijn van te verwachten effecten	33
3.2.2. Effecten op voedingsgewassen	34
Interactie met management	34
Bemesting	35
Watervoorziening	35
Bestrijden van plagen	35
Zaaien en oogsten	35
3.2.3. Effecten van klimaatverandering op graslanden	35
3.2.4. Klimaatverandering en teelt van energiegewassen	36
3.2.5. Kennishiaten	37
3.3. Aquatische biomassa en visserij	37
3.4. Recreatie en toerisme	39
Algemeen	39
3.4.1. Regiospecifieke effecten	40
Rivierengebied	40
IJsselmeergebied	40
Laag Nederland	40
3.4.2. Discussie	40
4. DE BELANGRIJKSTE MONDIALE VRAAGSTUKKEN ROND EFFECTEN VAN KLIMAATVERANDERING EN "GLOBAL CHANGE" IN RELATIE TOT LNV- BELEIDSDOMEIN	41
4.1. Duurzame voedselproductie en voedselvoorziening	41
Belangrijk vragen en dilemma's	44
Directe intensivering van de voedselproductie	45
Indirecte intensivering door specialisatie voor een externe markt	45
4.2. Tropische bossen	45
Interacties met veranderingen in landgebruik	46
Waterhuishouding	46
Biodiversiteit	46
Concluderend	47

4.3. Land en bodem degradatie	47
Effecten	47
Terugkoppelingen	48
Mitigatie	48
4.4. Biodiversiteit	48
5. OMGAAN MET ONZEKERHEDEN	49
6. DISCUSSIE, KANSEN & BEDREIGINGEN	53
6.1. Inleiding	53
Landelijk gebied en het klimaatsysteem	53
6.2. Sectorale kansen, bedreigingen en dilemma's in nederland en europa	54
6.2.1. Natuur, bos en bosbouw in Nederland en Europa	54
Bedreigingen	54
Kansen	54
Dilemma	55
6.2.2. Landbouwproductie in Nederland en Europa	55
Bedreigingen	55
Kansen	55
Dilemma's	56
6.2.3. Aquatische biomassa en visserij	56
Bedreiging	56
Kansen	57
6.2.4. Recreatie en toerisme	57
Bedreigingen	57
Kansen	57
Dilemma's	57
6.3. Sectorale kansen, bedreigingen en dilemma's met betrekking tot global change effecten buiten nederland	58
6.3.1. Duurzame voedselproductie en voedselvoorziening	58
Bedreiging	58
Kansen	58
Dillema	59
6.3.2. Tropische bossen	59
Bedreiging	59
Kansen	59
6.3.3. Biodiversiteit	59
Bedreigingen	59
Kansen	59
6.4. Omgaan met onzekerheden en de rol van het toekomstig onderzoek	60
Aanbevelingen	60
7. GERAADPLEEGDE EN GECITEERDE BRONNEN	61

EFFECTEN VAN KLIMAATVERANDERING OP DE VITALITEIT VAN DE FUNCTIES VAN HET LANDELIJK GEBIED

1. Voorwoord

Het project LNV-Agenda Klimaat beoogt het kader te geven voor de LNV-inzet in het lange termijn klimaatbeleid. Daartoe is een traject uitgezet dat stapsgewijze de keuzen inzichtelijk maakt waar LNV voor kan komen te staan in de toekomst, en dat van daaruit die onderwerpen en agendeert waar LNV op in wil zetten.

Het identificeren van de belangrijkste vragen en dilemma's waar LNV in de toekomst voor kan komen te staan in verband met de klimaatproblematiek is gebeurd aan hand van de uitkomsten van de LNV-Workshop Klimaat in mei 1998. Op deze workshop hebben meer en minder direct betrokkenen bij de klimaatproblematiek gebrainstormd over de mogelijke toekomstige kansen en bedreigingen, vragen en dilemma's voor LNV (zie Notitie LNV-agenda Klimaat: stand van zaken). Door clustering van de in de workshop naar voren gebrachte vragen, en spiegeling aan recente adviezen van de VROM-Raad, de Raad voor het Landelijk Gebied, NRLO, en RMNO, zijn er drietal hoofdvragen geformuleerd die uitgewerkt worden:

1. Wat zijn de ecologische en economische effecten van klimaatverandering op agrosector, natuur, bosbouw, recreatie, visserij, en de inrichting van het landelijk gebied?
2. Wat zijn de mogelijkheden voor en effecten van verdergaande emissiereductie maatregelen op de economische positie van de verschillende sectoren van LNV?
3. Welke systeeminnovaties zouden moeten plaatsvinden om de vitaliteit van de verschillende functies en sectoren in het landelijk gebied op de lange termijn te waarborgen?

Deze vragen worden nader uitgewerkt in een tweetal quickscans (dit rapport; van Ierland et al., 2000) en een essay (Dolman en van der Zande, 2000).

Deze quickscan richt zich op de eerste vraag: wat zijn de verwachte effecten van klimaatverandering op de diverse functies van het landelijk gebied en op de inrichting van het landelijk gebied. De quickscan bespreekt ook de verbanden tussen de functies van het landelijk gebied, landgebruik en de werking van het klimaatsysteem en de klimaatverandering. Er wordt in eerste instantie vanuit verwachte klimaatverandering gekeken naar het landelijk gebied: wat zijn de ecologische en daaruit voortvloeiende economische effecten? Vervolgens wordt besproken hoe veranderingen in de functies en de inrichting van het landelijk gebied zelf de klimaatverandering in de hand kunnen werken, of juist ingezet kunnen worden om de effecten van klimaatverandering te temporiseren, cq tegen te gaan.

Waar mogelijk wordt bij de effecten een onderscheid gemaakt tussen de korte-, middellange- en lange termijn situaties. Bij lange termijn effecten (>50 jaar) wordt naast de IPCC klimaatscenario's ook gekeken naar mogelijke effecten van niet-lineaire klimaatveranderingen en van klimaatextremen. De quickscan richt zich zowel op de "zekerheden" m.b.t. beschikbare projecties van de klimaatverandering, als op de hiaten in onze kwantitatieve en kwalitatieve kennis t.a.v. de effecten van de klimaatverandering. Kortom, er wordt gepoogd om een beeld te schetsen van wat wij weten en wat niet, en van wat de mogelijke consequenties zijn voor het landelijk gebied.

In de discussie worden de risico's en de kansen besproken: wat zijn de risico's op korte- en lange termijn, wat zijn de kansen en bedreigingen voor het landelijk gebied en voor de LNV sectoren in verband met de specifieke effecten van klimaatverandering? Zijn er nieuwe opties om op basis van de bestaande kennis de toekomstige maatregelen i.v.m. (her-) inrichting van het landelijk gebied beter te focussen op het klimaatvraagstuk? Waar laten we op dit moment de grootste kansen liggen? Maar ook: waar ontbreken op dit moment zowel de kennis als de gegevens om adequate maatregelen in het landelijk gebied te kunnen ontwikkelen? Wat

kunnen in dit verband de belangrijkste vragen en eisen worden aan de toekomstig klimaatonderzoek?

In de quickscan wordt de nadruk gelegd zowel op de individuele functies en sectoren als op de synergie die ontstaat door interacties tussen de effecten en maatregelen m.b.t. verschillende functies van het landelijk gebied. *Er wordt gepleit voor een integrale benadering van de klimaatproblematiek in het landelijk gebied: het toevoegen van de "klimaatdimensie" aan alle (her)inrichtingsmaatregelen en beleidslijnen m.b.t. het landelijk gebied en de groene ruimte.*

De quickscan richt zich op nationaal, Europees en internationaal niveau. De keuze van Europese en globale vraagstukken m.b.t. effecten van klimaatverandering is gemaakt op basis van de veronderstelde relevantie voor het "brede" LNV- beleidsdomein.

De grootste deel van deze quickscan bestaat uit een kwantitatieve, gestructureerde kennismontage op basis van de nieuwste inzichten (wetenschappelijke publicaties, onderzoeksrapportages, beleidsrapportages, etc); de discussie wordt gewijd aan voornamelijk kwalitatieve bespreking van de opties, kansen en bedreigingen. Er worden expliciet geen keuzes gesuggereerd: de bedoeling is het meest relevante materiaal aan te dragen dat als basis kan dienen voor de door het LNV-Agenda Klimaat te maken keuzes.

Bij het opstellen van deze quickscan is veelvoudig een afstemming gezocht met quickscan 2, waar men vanuit de huidige en toekomstige maatregelen de economische positie van de sectoren evalueert.

De opstellers van deze quickscan willen graag Hannah Koutstaal (LNV, directie VVM) bedanken voor zeer stimulerende discussies en haar coaching langs het traject van het LNV-agenda klimaat project.

Namens de auteurs,
P. Kabat, september 1999

2. Het klimaat in Nederland in 2050

Om de mogelijke klimaatverandering gedurende de komende eeuw te voorspellen heeft het IPCC (1996) een aantal scenario's ontwikkeld die met name variëren te aanzien van wereldwijde emissieniveaus van de belangrijkste broeikasgassen en op het punt van de gevoeligheid van het systeem voor input van dergelijke stoffen. Op grond van deze scenario's voorspelt IPCC een stijging van de wereld-gemiddelde temperatuur de komende eeuw op 1 tot 4,5 C. Voor het jaar 2050 zal de stijging 0.5 tot 1.5 C bedragen, met een middenwaarde van 1 C ten opzichte van 1990. Deze temperatuur stijging zal zich naar verwachting met vooral op het noordelijk halfrond voordoen en zal daar dan vooral gedurende de winter en 's nachts tot uitdrukking komen. Dit heeft tot gevolg dat de temperatuurverschillen tussen dag en nacht, en zomer en winter, kleiner worden. De neerslag zal op de hogere breedtegraden gedurende de winter gaan toenemen.

Het klimaat in Nederland in 2050

- Het KNMI verwacht een temperatuurstijging van 0.5-2 °C en een neerslagtoename van 3% tot 2050.
- De lengte van het potentiële groeiseizoen zal toenemen.
- Winters zullen gemiddeld natter en minder streng zijn, zomers droger.
- Gemiddelde neerslag neemt met 3 % toe t.o.v. het jaar 1990 (6% omstreeks 2100)
- De winterneerslag neemt met 6 % toe (12 % omstreeks 2100)
- De extreme winterneerslag wordt geschat op 10 % (20 % rond 2100)
- De gemiddelde zomer neerslag zou slechts met 1 % toenemen (2 % rond 2100), maar het valt meer in de vorm van lokale en zware buien (10 tot 20 % hogere intensiteit dan nu)
- Toename van de neerslag in de winter leidt tot hogere gebiedsafvoer en mogelijk hogere wateroverlast als gevolg van hogere neerslaghoeveelheden tijdens buien.
- Extremen in temperatuur en neerslag nemen mogelijk toe in frequentie.
- De kans op stormen en de intensiteit van stormen neemt toe.
- De zeespiegelrijzing wordt lokaal versterkt door het gelijktijdige optreden van bodemdaling: 25 cm in 2050 en 60 cm in 2100.

Klimaatscenario's voor Nederland (als hierboven) zijn door het KNMI ontwikkeld in het verlengde van de IPCC prognoses en op basis van in Nederland gemeten veranderingen gedurende de afgelopen eeuw (Können et al, 1997). Deze klimaatscenario's hebben geen toetsbare voorspellende waarde, maar moeten gezien worden als op de toekomst gerichte extrapolaties. Er is bijvoorbeeld uitgegaan van de veronderstelling dat er geen drastische wijzigingen in de bestaande grootschalige atmosferische luchtcirculatiepatronen zullen optreden (conform de IPCC- prognoses). Dit is een sleutelaanname, omdat het klimaat in West- Europa sterk beïnvloedt wordt door deze circulatiepatronen die nauw samenhangen met de circulatie patronen in de Atlantische oceaan (golfstromen). Dit impliceert dat wanneer er, in afwijking van deze aanname, toch veranderingen in de lucht en oceancirculatiepatronen zouden gaan optreden, dit grote gevolgen zou hebben voor in de scenario's geschetste klimaat in Noordwest - Europa.

De berekende klimaatveranderingen als gevolg van een toename van de atmosferische CO₂ concentratie hebben een ruime onzekerheidsmarge; een stijging van 1 tot 4.5 C in het jaar 2100. De IPCC- projecties hebben in de afgelopen jaren een gestage bijstelling ondergaan. Moge de onzekerheden op een mondiale schaal ruim zijn, op regionale schaal wordt nemen die nog verder toe. Niettemin zijn er duidelijke trends waarneembaar.

Waar is het vertrouwen in de voorspellingskwaliteiten van de op gebaseerd?

Onder andere op het gebleken vermogen van deze modellen om enkele belangrijke kenmerken van het huidige klimaat correct na te botsen, waaronder de huidige verdeling van neerslag en temperatuur op over de aarde gedurende de seizoenen of de wereldklimaatsschommelingen naar de uitbarsting van de vulkaan Pinatubo in 1991. Ook komt het door klimaatmodellen nagebootste wereld- gemiddelde temperatuurverloop gedurende de afgelopen anderhalve eeuw overeen met het in werkelijkheid opgetreden temperatuurverloop.

Klimaatmodellen van verschillende complexiteit zijn ook in staat gebleken de lage temperaturen op beide halfronden tijdens de laatste ijstijd (~ 100 000 jaar geleden) te verklaren en de overgang naar het huidige interglaciaal, dat ongeveer 10 000 jaar geleden werd ingezet. Deze periode werd gekenmerkt door zeer snelle en grote klimaatfluctuaties met de temperatuurfluctuaties in de orde van 5 tot 7 graden die op de tijdschaal van enkele decennia optraden. Opvallend is dat klimaatmodellen de lage temperaturen gedurende de laatste ijstijd alleen kunnen verklaren wanneer ook de CO₂ concentratie aan de toenmalige waarde van 200 ppmv wordt aangepast; de waarde die bijna 30 % onder de preïndustriële waarde van 280 ppmv ligt en circa 40 % onder de huidige waarde van 360 ppmv.

Het Landelijk gebied en het klimaatsysteem

Het landelijk gebied met haar functies is een belangrijk onderdeel van het klimaatsysteem. Veranderingen in het landgebruik, zoals grootschalige ontbossing, kunnen leiden tot klimaatveranderingen die van vergelijkbare orde zijn als die veroorzaakt door industriële emissies van broeikasgassen. Daarnaast speelt de landbiosfeer een belangrijke rol in de globale koolstofbalans: de hoeveelheid koolstof uitgewisseld tussen de landbiosfeer en de atmosfeer wereldwijd bedraagt jaarlijks ongeveer 120 Gigaton, terwijl de globale emissie van de CO₂ circa 6 Gigaton is. Een relatief kleine (5 %) verstoring van de landbiosfeer kan dus een CO₂-emissie tot gevolg hebben, die gelijk is aan de mondiale industriële emissies.

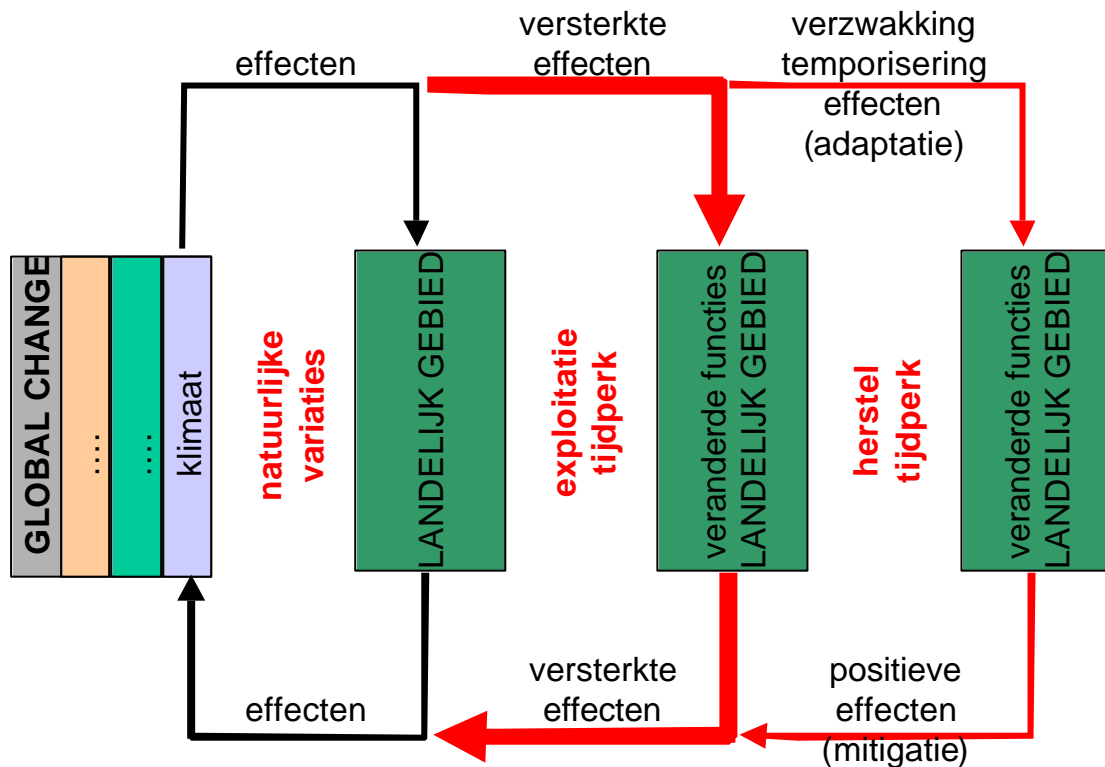
Door haar "dubbele" functie in het klimaatsysteem is het landelijk gebied geen eenzijdige slachtoffer van de klimaatverandering; veranderingen in de functies van het landelijk gebied kunnen klimaatverandering sterk in de hand werken, en de effecten daarvan versterken. Aan de andere kant, kunnen gerichte maatregelen in het landelijk gebied worden ingezet om de effecten van klimaatverandering te temporiseren of zelfs tegen te gaan. Gerichte maatregelen in het landelijk gebied worden hierdoor een instrument van het klimaatbeleid.

Door menselijk handelen veroorzaakte klimaatverandering is een mondiaal probleem dat zich overal op de wereld manifesteert, zij het in elke regio op verschillende wijze. De verzameling van mondiale milieuproblemen zoals verandering in het landgebruik, afname van ozonlaag, achteruitgang in biodiversiteit, tropische ontbossing, maar ook toenemende bevolkingsdruk en veranderende sociaal-economische verhoudingen, staat bekend als "Global Change". Klimaatverandering is slechts een van de componenten van "Global Change" en het kan niet los gezien worden van andere milieuproblemen. Zowel de oorzaken als de gevolgen van de klimaatverandering zijn intrinsiek gekoppeld met andere componenten van het "global change" proces, met het veranderend landgebruik als een van de belangrijkste actoren.

Het landelijk gebied is door het menselijke ingrijpen op grote schaal veranderd. Al heel lang worden er door de mensheid op grote schaal bossen gekapt ten behoeve van landbouw en veeteelt en voor het aanleggen van stedelijke en industriële infrastructuur. Ook zijn er grote ingrepen gepleegd in de waterhuishouding door het droogleggen van grote gebieden, of door het aanleggen van omvangrijke irrigatiesystemen. Hierdoor is het klimaatsysteem ingrijpend verstoord.

In figuur 1, hieronder, wordt de rol van het landgebruik in het klimaatsysteem schematisch weergegeven. Het landelijk gebied staat in voortdurende wisselwerking met andere componenten van het aardsysteem zoals klimaat, hydrologie, en nutriëntenhuishouding. Natuurlijke variaties in bijv het klimaat hebben effecten op het landelijk gebied, die op hun beurt weer terugkoppelen naar het klimaat, veelal negatief, waardoor het systeem stabiliseert.

In het exploitatietijdperk grijpt de mens drastisch in één of meerdere componenten van het aardsysteem waarbij de effecten op de functies van het landelijk gebied veel sterker kunnen zijn. Veelal zullen de terugkoppelingen ook versterkt, en soms zelfs positief zijn waardoor het systeem instabiel wordt en naar een kwalitatief andere toestand zou kunnen gaan. Een voorbeeld hiervan is een vorm van verwoestijning waarbij een verdroging van het klimaat leidt tot een afname van vegetatie, die op haar beurt weer leidt tot een verdere afname van regenval. In het herstel tijdperk is het zaak de functies van het landelijk gebied zodanig aan te passen dat enerzijds de impact van bijv. klimaatverandering geminimaliseerd wordt (adaptatie) en anderzijds de terugkoppeling naar het klimaat negatief wordt, dwz de klimaatverandering tegengegaan wordt (mitigatie). Een voorbeeld hiervan is het vastleggen van koolstof in bijv bossen en/of bodems om zo CO₂ emissies tegen te gaan.



Figuur 1 Interacties van het landelijk gebied met klimaatverandering (en/of andere 'global change' componenten) in respectievelijk de natuurlijke situatie, in het exploitatie tijdperk en in het herstel tijdperk. Voor een verder verklaring zie tekst.

3. Effecten van klimaatverandering op de functies van het landelijk gebied

3.1 Effecten van klimaatverandering op diverse typen natuur

Voor Natuur, Bos & landschap is het klimaat een milieuranvoorwaarde; elke verandering van het klimaatsysteem heeft consequenties voor ecosystemen. Maar ook veranderingen in ecosystemen en landgebruik hebben invloed op het klimaat.

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de stand van zaken van kennis rond effecten van klimaatverandering op de Nederlandse natuur en op Nederlandse en Europese bossen. De natuur in Nederland wordt intensief beheerd en gebruikt, en staat bloot aan allerlei ontwikkelingen en invloeden. Het is binnen deze ontwikkelingen dat de effecten van klimaatverandering zichtbaar zullen worden. In deze quickscan wordt ook gezocht naar kansen en bedreigingen welke ontstaan voor het LNV beleid door klimaatverandering.

3.1.1 Effecten van klimaatverandering op bos

Korte termijn effecten op bos

De verwachte veranderingen in klimatologische omstandigheden in Nederland kunnen belangrijke gevolgen hebben voor de groei en de soortensamenstelling van het bos. Wat de precieze gevolgen zullen zijn op gap- of opstandsniveau is echter (nog) niet duidelijk. Ten eerste zijn er zowel positieve (groei bevorderende) als negatieve effecten (minder zaadproductie, hogere zaailing mortaliteit), en het netto effect hiervan op de productie en soortensamenstelling van het bos is moeilijk te voorspellen.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van te verwachten effecten:

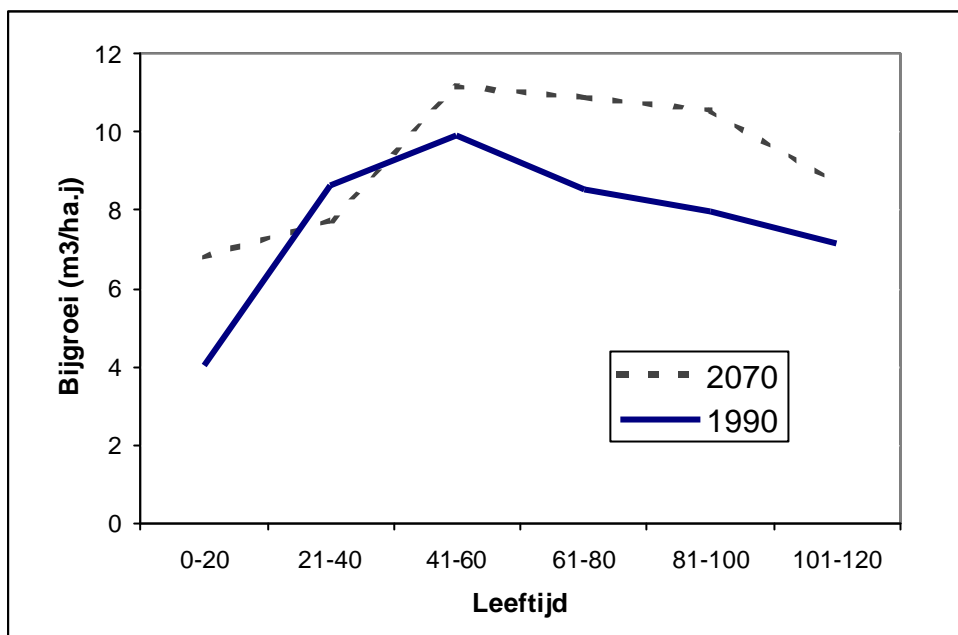
Tabel 1

Klimaatverandering	Effect
Verhoogd CO ₂	Hogere fotosynthese snelheid → meer biomassa productie, maar terugkoppelingen in de plant kunnen dit op langere termijn teniet doen
Verhoogd CO ₂	Huidmondjes kunnen zich iets verder sluiten → water gebruiksefficiëntie van plant neemt toe → minder biomassa in wortels.
Verhoogde temperatuur	Biomassa productie neemt toe → sommige soorten profiteren meer dan andere. Bij grote temperatuur toename (> 2 °C) neemt productie af
Langer groeiseizoen	Meer kans op voorjaarsvorstschade (vooral bij berk) → concurrentie tussen boomsoorten wijzigt zich. Van verlengd groeiseizoen profiteert vooral de beuk
Voorjaarsvorst schade	Regeneratie van bos wordt bemoeilijkt
Zomer droogte	Zaailingen sterven, biomassa productie neemt af → droogte resistente soorten worden bevoordeeld

Lange termijn effecten op bos

Binnen Europa zijn een aantal studies uitgevoerd naar het effect van klimaatverandering op de bos-succesie mbv modellen (tabel 2). Hierbij worden de belangrijkste bosgroei processen gebruikt om bos-groei en -ontwikkeling te simuleren (Figuur 2). Vervolgens worden een aantal factoren (bv temperatuur, neerslag, CO₂ gehalte) veranderd die de bosgroei processen beïnvloeden, en worden de effecten daarvan op de lange termijn (enkele honderden jaren) geanalyseerd.

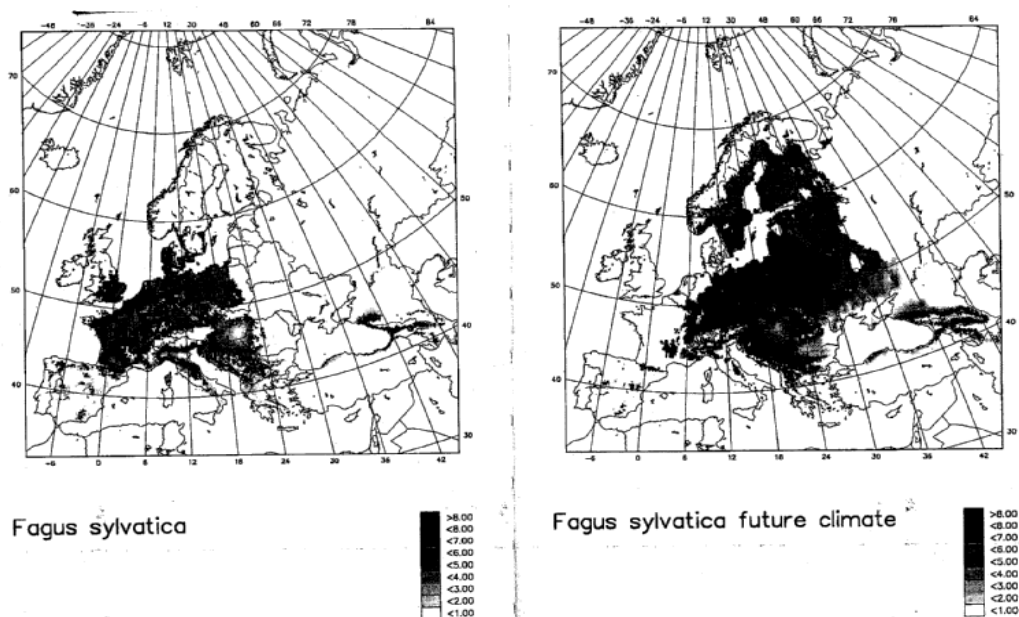
De belangrijkste conclusies zijn dat soortensamenstelling en productie van bossen gaan veranderen, wat belangrijke consequenties kan hebben voor de natuurwaarden, de houtmarkt en de bedrijfseconomische positie van de boseigenaar (zie ook quickscan 2). Voor Europa wordt op lange termijn verwacht dat de gevolgen van klimaatverandering het meest merkbaar zullen zijn in de noordelijke boreale streken en in het Mediterrane gebied. In de boreale streken zal klimaatverandering vooral leiden tot een groeitoename en verschuiving naar meer loofbos (zie figuur 3). In het Mediterrane gebied zal de kans op droogte en bosbranden toenemen. Het verspreidingsgebied van soorten als grove den en zomereik zal zich verder kunnen uitbreiden naar het noordoosten van Eurazië. Nederland zou zo op den duur buiten het verspreidingsgebied van nu algemeen voorkomende soorten kunnen komen te liggen.



Figuur 2. Bijgroei van grove den in centraal Europa in 1990 en onder klimaatverandering in 2070. Klimaatverandering leidt bij grove den vooral op oudere leeftijd tot een groei toename (model TREEDYN, Sonntag et al., In prep). O.a. deze groeiveranderingen worden in het European Forest Information Scenario (EFISCEN) model ingebouwd om analyses van effecten op Europese schaal te maken (zie quickscan 2).

Tabel 2 Modelstudies naar effecten van klimaatsverandering binnen Europa

Land	Bostype	Effecten	Referentie
Finland, 2 sites	Gemengd (Den, Fijnspar, Berk)	Temp: positief effect op groeisnelheid Water: geen effect op groei CO ₂ : niet getest	Talkkari & Hyphen 1996
Nederland	Monocultuur en gemengd bos	CO ₂ : 15 – 20% meer productie. Temp: afname productie. Berk heeft last van vorstschade.	Kramer 1996
Zweden 2 sites	Grove Den (droog) Gemengd (Den- Fijnspar)	Versnelde successie Immigratie van nieuwe soorten. Versnippering natuur is een probleem Verschuiving soorten samenstelling	Sykes & Prentice 1996
	Ondergroei in bos	Zeer gevoelig voor veranderingen. Migratie van soorten is moeilijk, zeker in Nederland	
	Bosbodem	Effecten op strooiselomzetting onduidelijk. In boreale bos mogelijk geringe effecten.	Pers. comm. Linder, SLU



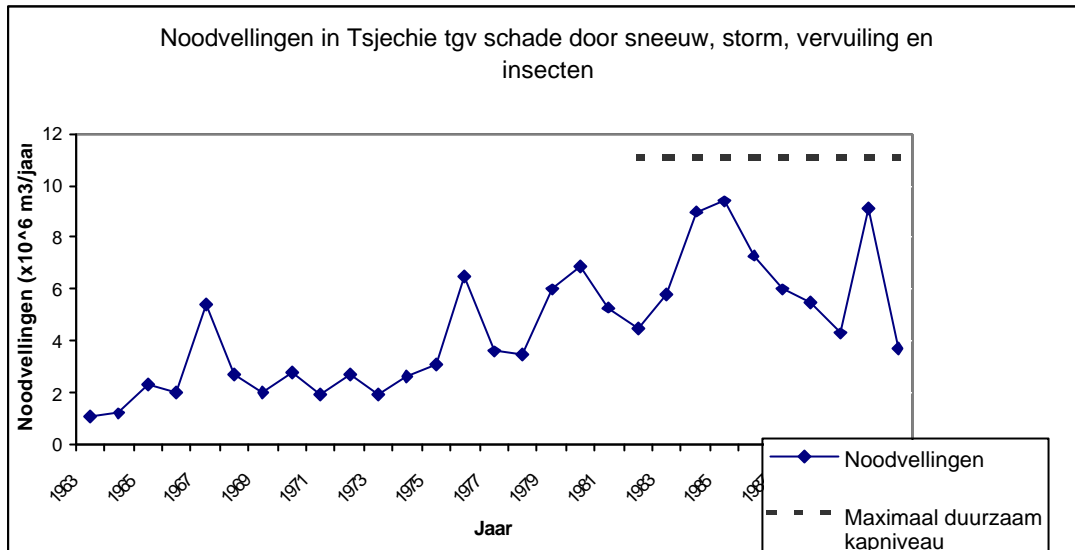
Figuur 3. Gesimuleerde natuurlijke verspreiding van beuk onder huidig klimaat en onder toekomstig veranderd klimaat (Sykes & Prentice 1996).

Groeitrends in het Europese bos

Uit analyse van groeigegevens (dendrochronologisch, permanente proefperken en bosinventarisatie) uit 12 Europese landen is gebleken dat de groei van bos de afgelopen decennia duidelijk is veranderd (Spiecker et al. 1996). De meeste studies geven hetzelfde beeld: de groeiplaatsproductiviteit is toegenomen. Geen trend kon worden waargenomen in het meest noordelijk deel van Europa en in enkele gevallen in centraal en zuid Europa. Als oorzaken voor de toegenomen groei noemen de auteurs: voormalig landgebruik, verbeterd beheer waaronder drainage en herkomstkeuze, klimaat, en veranderende milieuomstandigheden als N-depositie en een verhoogd CO₂ gehalte in de atmosfeer. Per case studie is het belang van elke factor sterk verschillend.

Natuurlijke verstoringen onder klimaatverandering

Natuurlijke verstoringen krijgen in het intensief beheerde Europese bos weinig aandacht omdat wordt aangenomen dat ze hier van ondergeschikt belang zijn. Dit in tegenstelling tot bijv Canada en Rusland waar het primaire boreale bos bloot staat aan regelmatig terugkerende bosbranden. Echter ook in het Europese bos spelen natuurlijke verstoringen een grote rol. In sommige Europese landen bestaat het grootste deel van de houthoogst uit noodvellingen ten gevolge van brand, wind, storm, en insecten (zie figuur 6). Jaarlijks gaat 0.5 - 1% van het Europese bos 'verloren' door natuurlijke verstoringen. Bij een gemiddelde omloop van 100 jaar betekent dat een flink verlies van de netto contante waarde.



Figuur 4. Ontwikkeling van het aandeel noodvellingen t.g.v. natuurlijke verstoringen in de totale kap in Tsjechië 1963-1991

Brand

Bosbrand is vooral in Zuid-Europa een factor van betekenis (UN-ECE/FAO 1996). Jaarlijks verbrandt daar ongeveer 1% van het bos (430 000 ha). Het voorkomen van bosbranden wordt bepaald door het klimaat (droogte, temperatuur, wind), maar ook wordt een groot deel van de bosbranden opzettelijk aangestoken (UN-ECE/FAO 1996). Suffling (1992) laat zien dat een 2 graden toename van de temperatuur in Zweden leidt tot een vijfmaal grotere kans op bosbrand. Echter, landbouwsubsidies zijn soms ook zodanig dat het verwijderen van bos door middel van brand aantrekkelijke kan zijn (Bojinov et al. 1994). Het zijn dus ook maatschappelijke ontwikkelingen die de kans op brand bepalen.

Als door klimaatverandering de zomers droger worden zullen de branden heviger worden, moeilijker te bestrijden zijn en dus meer economische schade opleveren. Nu gaat al jaarlijks zo'n 34 miljoen m³ hout verloren in het Middellandse zee gebied. Dit vertegenwoordigt een waarde van zo'n 1.5 miljard gulden. Dit neemt dan nog niet in beschouwing de afname van toerisme in de getroffen regio. In de rest van Europa zal het risico van bosbranden door drogere zomers ook kunnen toenemen, door toenemende droogte, toegenomen hoeveelheid brandstof (door een natuurlijker bosbeheer: meer dood hout in het bos) en wellicht toenemende recreatie.

Storm

Windworp heeft een groot effect op de financiële situatie van de bouseigenaar. Hoewel soms maar 1% van de voorraad wordt vernietigd, reduceert dit de productiviteit en dus de financiële situatie van de bouseigenaar met 10% (Manley and Wakelin). Ook is het effect van een grote storm lang merkbaar; de stormen van 1973 hadden jaren later nog een groot effect op de houtmarkt en het bosbeheer in Duitsland.

Windworp treedt overal in Europa op, maar is vooral van belang in de landen grenzend aan de Atlantische oceaan en Noordzee. Onder klimaatverandering zal de stormfrequentie toenemen, maar door een trend naar meer natuurlijk bosbeheer in Europa zal de boomsoortenmenging toenemen en zal de eventuele windworp meer verspreid en plekgewijs optreden (Rau 1995; Paine et al. 1998).

Insecten

De kans op insectenschade hangt af van de vitaliteit van het bos, de initiële populatie, het klimaat en van geschikte locaties om te broeden en te foerageren (Annala en Petäistö 1978; Forster 1993). Door de mildere winters en drogere zomers kan de insecten populatiedichtheid op een hoger niveau blijven (Annala en Petäistö 1978). Bij voldoende aanbod van

broedmateriaal (bijvoorbeeld als gevolg van windworp, bosbrand of slechte vitaliteit) kan een plaag zich dan sneller ontwikkelen (Forster 1993; Weslien en Schröter 1996). Insecten zullen waarschijnlijk snel kunnen reageren op klimaatverandering. Hierdoor kunnen zich al op korte termijn nieuwe soorten vestigen in Nederland (zie box).

Eikeprocessierups

De giftige rupsen van de eikeprocessierups, *Thaumetopoea processionea* vormden voor het eerst een plaag in 1978. Van 1991 tot 1996 verspreidde de plaag zich vervolgens over een groot deel van Noord-Brabant, Midden Limburg en het Rijk van Nijmegen (Moraal in druk). Duidelijk was een geleidelijke uitbreiding naar het noorden waarneembaar. Mogelijk hebben de warme zomers hierbij een rol gespeeld en klimaatverandering zou deze soort dus nog verder kunnen stimuleren

Ook de politieke situatie kan van invloed zijn op het risico van verstoringen. In sommige delen van Europa trad direct na de Tweede Wereldoorlog veel insectenschade op doordat er lang geen bosbeheer meer was gevoerd (Schimitschek 1950). Een factor van betekenis in Oost-Europa is op dit moment de privatisering van het bosbezit. Doordat het bosbeheer niet meer centraal georganiseerd wordt en de doelen van bosbeheer veranderen vindt bestrijding van insectenplagen ook veel minder plaats (Pfeffer en Skuhavy 1995). Effecten van klimaatverandering moeten dus ook binnen andere maatschappelijke ontwikkelingen worden ingeschat.

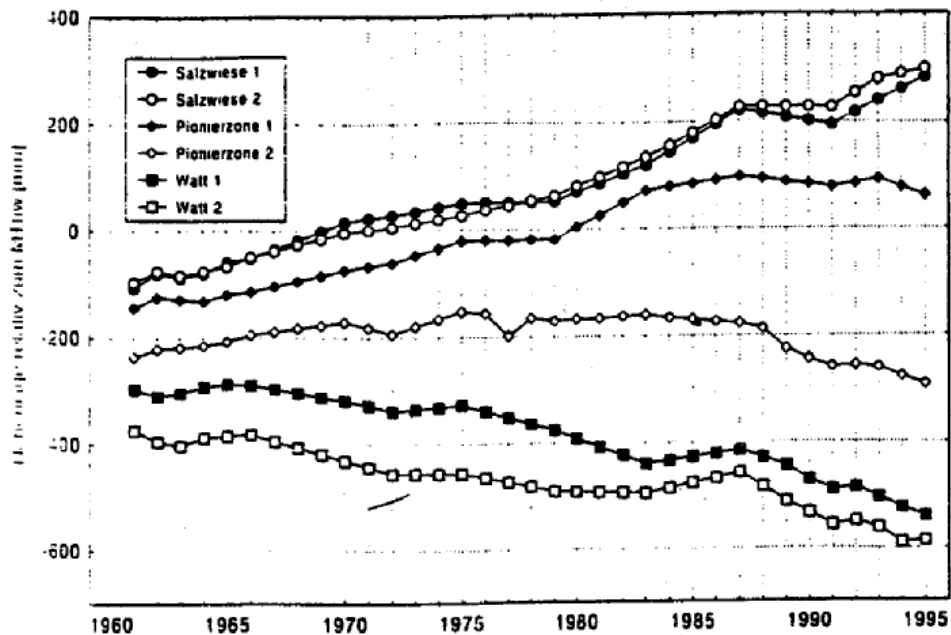
3.1.2 EFFECTEN VAN KLIMAATVERANDERING OP HET ECOSYSTEEM WADDENZEE

De getijdenbeweging in de waddenzee is de drijvende kracht voor de processen die de kustzones van de eilanden en de kusten vormen, maar ook voor de droogvallende platen. Klimaatverandering heeft twee hoofdeffecten: stijging van de gemiddelde temperatuur en zeespiegelrijzing.

Zeespiegelrijzing zal een verdere erosie van de kusten van de Waddeneilanden en de vastelandskust veroorzaken. Daardoor worden de mogelijkheden voor groei en erosie van de kwelders beïnvloed. Het is waarschijnlijk dat de platen gedurende kortere periodes droog zullen vallen, aangenomen dat de zandsuppletie niet voldoende zal zijn. Als dat zo is, zal de productie van bentos op de platen dalen en aangezien dit voedsel is voor veel vogels, zal de populatie van vogels eveneens negatief beïnvloed worden. Het resulteert in competitie voor voedsel tussen bentos etende vogels, die in kortere tijd minder voedsel vinden. Jonge en onervaren vogels leggen daarbij het loodje, hetgeen dramatische effecten op de populatie-opbouw zal hebben.

Zeehonden hebben de droogvallende platen nodig voor uitrusten en voor de reproductie. De populatie is de laatste jaren gelukkig weer groeiende, maar het verdwijnen of korter beschikbaar zijn van platen kan deze ontwikkeling sterk negatief beïnvloeden.

Kwelders bezitten een zeer gevarieerde flora en fauna, die gebonden is aan zeewater. De aanwas van kwelders is afhankelijk van de suppletie van zand en slik. Het gemiddelde hoogwaterpeil is van cruciale betekenis voor de processen die kwelders doen aangroeien of afbreken. De grootste bedreiging wordt gevormd door zeespiegelrijzing en bodemdaling. De versterkte erosie ten gevolge van de werking van hogere golfenergie bij dieper water leidt tot klifvorming. Deze kliffen scheiden de kwelders van de andere delen van kust of platen en beperken de uitbreiding van kwelders. Zeespiegelstijging van 3-6 mm/jr kan worden gecompenseerd door aangroei van kwelders omdat kwelders met vegetatie drie maal zoveel zand kunnen vasthouden als onbegroeide kwelders (Fig. 4).



Figuur 5. Opslibbingsnelheid van diverse typen kwelder. De twee bovenste lijnen in de figuur zijn kwelders met vegetatie, de twee middelste met een pioniervegetatie en de laagste grafieken zijn zonder vegetatie. De begroeide kwelders slibben snel op (stijgende lijnen) en kunnen waarschijnlijk een zeespiegelstijging wel volgen. De niet begroeide kwelders waarschijnlijk niet.

3.1.3 GEVOLGEN VAN KLIMAATVERANDERING OP BEKEN EN STROOMGEBIEDEN

In een studie naar veranderingen in het stroomgebied van de Rijn (Kwadijk, 1993) wordt verwacht dat de winterafvoer van de Rijn zal worden vergroot en de zomerafvoer verlaagd. De neerslag in de Alpen zal steeds meer in de vorm van regen vallen en dus direct afgevoerd worden, terwijl in de zomer minder water beschikbaar is door grotere verdamping en de afwezigheid van gesmolten sneeuw.

De belangrijkste gevolgen van klimaatverandering op van beken

- temperatuurverhoging,
- meer kans op droogvallen in de zomer
- meer kans op piekafvoeren
- klimaatverandering heeft een versterkend effect op kanalisatie
- soorten met hoge eisen aan het milieu oftewel een kleine niche, zullen achteruitgaan of verdwijnen

Bij temperatuurverhoging bestaat kans op de volgende verschuivingen:

- De vegetatie zal zich vroeger in het jaar ontwikkelen.
- De vegetatie veroorzaakt andere stromingspatronen, waardoor er veranderingen van de bodem optreden. Mogelijk ontwikkeling van hogere biodiversiteit
- Door de hogere temperatuur zijn is de fauna eerder gaan groeien en is ze eerder actief.
- Als de oevervegetatie zich eerder ontwikkelt, wordt het effect van opwarming tegengegaan door de beschaduwing.

Veranderingen in de afvoer leiden tot veranderingen in stroomsnelheden, waardoor de substraatverdeling verandert. Door het jaar heen worden nog dezelfde mogelijkheden aan substraat aangeboden, maar de periode, lengte en vermoedelijk plaats van aanbod zullen

veranderen. Omdat de verschillen in afvoer extremer worden, zullen er voor minder soorten dan nu nog niches aanwezig zijn. De huidige situatie in Nederlandse beken is hier al goed vergelijkbaar mee. Dat komt door kanalisatie, normalisatie, versnelde afvoer door drainage en het verdwijnen van oevermoerassen.

In meer of mindere mate wordt in concepten uit de aquatische ecologie rekening gehouden met droogvalling en laagwater. Voor een deel wordt gehypothetiseerd, dat er negatieve effecten op de levensgemeenschap op zullen treden. In die gevallen waarin echter veldwerk is verricht, lijken de negatieve effecten niet altijd op te treden. In het algemeen kan geconcludeerd worden, dat negatieve effecten meer optreden naarmate de periode van droogte langer is, de afstand tussen resterende poeltjes groter is, er geen contact via grondwater tussen poeltjes is, de poeltjes zo klein zijn dat er geen of weinig interne habitat differentiatie ontstaat en er onregelmatige, dus geen seizoensgebonden droogvalling optreedt. Effecten van droogvallen op organismen blijven nog vele jaren merkbaar, als het systeem zich allang hydrologisch hersteld heeft.

Piekafvoeren hebben effect op de morfologie van beken, op de sedimentsamenstelling, op de overstromingsfrequentie en daarmee gepaard gaande uitwisseling van stoffen tussen beek en overstromingsvlakte.

3.1.4 GEVOLGEN VAN KLIMAATVERANDERING OP OVERIGE ECOSYSTEMEN

Over de effecten van klimaatverandering op overige ecosystemen (heide, hoogvenen, natuurlijke graslanden) is zeer weinig bekend. Behalve algemene uitspraken over het effect van bijvoorbeeld zomerdroogte, en veranderingen in kwelwaterstromen is nauwelijks iets onderzocht. Algemene uitspraken zijn gebaseerd op algemene kennis over de fysiologie van het betreffende ecosysteem.

3.1.5 Discussie

De Europese natuur is in een duizenden jaren lange periode, steeds verder gedegradeerd. Daaroverheen komt nu de dreiging van klimaatverandering. Het beleid en beheer moet er op gericht zijn een zo vitaal mogelijke natuur te creëren zodat deze de gevolgen van klimaatverandering beter kan opvangen.

Kennishiaten

- Op dit moment is de kennis over de lange termijn gevolgen van klimaatverandering op het Nederlandse bos zeer summier;
- De kennis is te gering om nu concrete maatregelen in bosbeheer te adviseren;
- Kennis op het gebied van effecten van klimaatverandering op heide ecosystemen, graslanden, fauna, beken, het wadden ecosysteem, en het volledige boscysteem ontbreekt vrijwel volledig.

Het natuur- en bosbeleid in relatie tot klimaatverandering

Het natuur- en bosbeleid in relatie tot klimaatverandering zou gericht moeten zijn op:

- het versneld tot stand brengen van verbindingen tussen natuurgebieden en het revitaliseren van de natuur,
- het zo lang mogelijk vasthouden van gebiedseigen regenwater,
- het stimuleren van de ontwikkeling van bosbeheer richting gemengde bossen met een zo groot mogelijke genetische en ecologische variatie waardoor altijd één of meerdere (boom)soorten kunnen inspringen op veranderende omstandigheden,
- het stimuleren van bosbeheer waarin geëxperimenteerd wordt met zuidelijkere soorten of herkomst

- het stimuleren van onderzoek naar de effecten van klimaatverandering op diverse ecosystemen in Nederland, en vooral het totale complexe ecosysteem incl. schimmels, insecten, vogels, zoogdieren en planten,
- het stimuleren van onderzoek naar beheersvormen die de negatieve effecten van klimaatverandering zoveel mogelijk tegengaan.

3.2 Effecten op landbouwproductie in Nederland

Er zijn drie normatieve uitgangspunten die een belangrijke rol spelen in het debat over concrete niveaus van broeikasgasconcentraties in de atmosfeer die niet overschreden mogen worden wanneer het gaat om de stabilisatie en de reductie van de emissies:

1. ecosystemen moeten de tijd krijgen zich aan te passen
2. de voedselproductie mag niet in gevaar komen
3. de economie moet zich duurzaam kunnen blijven ontwikkelen.

In dit hoofdstuk komen het tweede en derde aandachtspunt aan de orde.

De impact van klimaatveranderingen op de landbouw wordt met name bepaald door de geografische verdeling van die veranderingen. De klimaatseffecten beïnvloeden de landbouwproductie op drie manieren:

1. door een direct positief effect van de CO₂-concentratie op de fotosynthese
2. door de indirecte effecten van een verhoogde temperatuur en gewijzigde neerslag
3. door veranderingen in management en gewaskeuzen

3.2.1 Hoofdlijn van te verwachten effecten

De belangrijkste conclusies die momenteel met betrekking tot de drie genoemde punten uit experimenteel onderzoek en modelstudies voor de Nederlandse situatie kunnen worden getrokken, zijn:

- Een verdubbeling van de CO₂-concentratie kan in Nederland, onder optimale teeltcondities, lijden tot een verhoging van de fysieke landbouwproductie met 15 - 50 %, afhankelijk van het gewas en de weersomstandigheden. Door de te verwachten temperatuurstijging zal dit positieve effect echter geringer zijn (10 - 30 %). Simulatiestudies en experimenten met grassen, aardappel en tarwe toonden aan dat een verhoging van de temperatuur, een verkorting van het groeiseizoen teweegbrengt door een versnelde veroudering van de bladeren. De snellere voorjaarsgroei als gevolg van een hogere temperatuur wordt negatief gecompenseerd door een snellere afrijping van oogstbare delen en een versnelde veroudering van bladeren.
- Het watergebruik van de gewassen zal ongeveer constant blijven of licht toenemen afhankelijk van het temperatuursscenario. De verwachte afname van het watergebruik door een CO₂-gerelateerde toename in de benuttingsefficiëntie wordt tenietgedaan door een toename van de verdampende bladmassa en een toename van de temperatuur.
- Het totale welvaartseconomische effect van klimaatsverandering is positief. Voor de onderscheiden actoren ligt de situatie anders. De producenten gaan er op achteruit en de consumenten (afnemers) gaan er op vooruit. Tabel 3 (Schapendonk et al., 1998) geeft aan de welvaartseconomische effecten van klimaatsveranderingen in het jaar 2020 gerelateerd aan de verschuivingen in landbouwopbrengsten

Tabel 3 Economische verschuivingen in opbrengstramingen in 2020 (Miljoen gulden)

Gewasgroep	consument	producent
Granen	0	-158
Pootaardappel	134	-11
Consumptieaardappel	126	-52
Fabrieksaardappel	0	14
Suikerbiet	0	-109

Snijmais	0	-50
Grasland	0	266
Totaal	260	100

Voor de langdurige opslag van koolstof speelt de huidige vorm van moderne landbouw geen rol van betekenis behalve de te verwachten opslag van koolstof in de bodem van ongestoorde graslanden en "low-tillage" akkerbouwsystemen. Bij een verdubbeling van het CO₂-gehalte, en gelijkblijvende temperatuur zal de koolstof-assimilatie door graslanden toenemen en bovendien zal deze toename in geassimileerde koolstof in meer dan evenredige mate in de bodem terechtkomen. Het is aannemelijk dat graslanden bij een verhoogde CO₂-concentratie een verhoogde sink-functie gaan vervullen voor atmosferische CO₂.

Als het klimaat volgens de huidige inzichten verandert, lijkt per saldo de toekomstige situatie voor de voedselvoorziening in Nederland gunstig. Er zijn weinig of geen aanwijzingen dat de landbouw in Nederland er bij de klimaatverandering op achteruit zal gaan, behoudens de situaties waarbij abrupte (niet-lineaire) klimaatveranderingen zouden gaan optreden.

Het feit dat de Nederlandse landbouwsector (voedselproductie, -consumptie en agri-export) naast het productieareaal in eigen land een zeventvoudige oppervlakte in het buitenland "in gebruik" heeft (IUCN, 1994), maakt de sector extra kwetsbaar voor de gevolgen van klimaatverandering in internationaal verband (zie hoofdstuk 4.1.). Dit betreft met name de veehouderij sector die voor zijn veevoerproductie beslag legt op ruim 6 miljoen hectaren elders, waarvan 2 miljoen hectare in de (sub)tropen, kan hierdoor ernstige problemen ondervinden.

Gevolgen van klimaatverandering voor de (sub)tropische landbouw zullen ook gevolgen hebben voor de aanbod van exotische etenswaren op de Nederlandse en West-Europese markt. Dit kan leiden tot aangepaste consumptiepatronen en daarmee nieuwe perspectieven voor Nederlandse en Europese landbouwproducten en voedingsmiddelen (RLG, 1998).

3.2.2 Effecten op voedingsgewassen

Stijging van de CO₂-concentratie in de atmosfeer heeft diverse consequenties. De gebruikte klimaatscenario's leiden beide tot een toename van de potentiële productie. De fysieke meeropbrengst (in de range van het lage scenario in 2020 tot het hoge scenario in 2050) is het grootst voor grassen (18 - 50%) en neemt af in een reeks suikerbiet (16 - 35%), aardappel (7 - 32%), winterarwe (4 - 8%) en maïs (-7 tot -16%).

De monetaire effecten zijn tegengesteld voor de beide voedergewassen grassen en maïs. Een toename van de productiewaarde van 250-350 miljoen in 2020 voor grassen en een afname van 50 - f 60 miljoen voor maïs. In beide gevallen betreft het de producent, die de winst respectievelijk het verlies krijgt te verwerken. Ook de granen en suikerbieten tenderen naar lagere financiële opbrengsten. Een verlies van 100 tot 150 miljoen is te verwachten. Het positieve bericht is aan de afnemers voorbehouden. Die zullen een lagere prijs gaan betalen voor pootaardappelen en consumptielandappelen. Een post die 120 -150 miljoen zal belopen.

Het is te verwachten dat negatieve ontwikkelingen bijvoorbeeld bij maïs zullen worden gecompenseerd door de ontwikkeling van nieuwe geniteurs. Omgekeerd zullen de schattingen van de positieve effecten enigszins moeten worden bijgesteld vanwege fysiologische acclimatisatie en onvoorspelbare veranderingen van extreme weerscondities. De veranderingen in neerslag en aanvoer van water via de rivieren gekoppeld aan verdamping en grondwaterstand, kortom de hydrologische effecten, zullen in elk geval een cruciale factor blijken te zijn voor de te verwachten effecten.

Interactie met management

De agrarische ondernemer zal inspelen op veranderingen in klimaat. Hij zal zijn gewas keuze aanpassen en gebruik maken van nieuwe rassen om optimaal te profiteren van de gewijzigde omstandigheden. Daarnaast zullen er directe veranderingen in de teelt nodig zijn:

Bemesting

In het algemeen geldt dat een tekort aan nutriënten het positief effect van CO₂ reduceert. Voor de Nederlandse landbouw is dit nog niet relevant. Maar omdat de beschikbaarheid van stikstof in grote gebieden op aarde laag is, zal de verwachte positieve werking van een verhoogde CO₂-concentratie op de landbouwproductie mondiaal in neerwaartse richting moeten worden bijgesteld. Voor een deel wordt de grotere vraag naar nutriënten onder hoog CO₂-gehalte gecompenseerd door het lagere gehalte in de biomassa. De totale hoeveelheid stikstof, die bij een verdubbelde CO₂-concentratie de plant consumeert bleek echter veel hoger. Dit kan worden verklaard uit exploitatie van een groter bodemvolume, als gevolg van een groter wortelstelsel. Uiteraard geldt dit relatieve voordeel alleen als in de betreffende bodemlagen ook voldoende stikstof aanwezig is, door aangepaste bemesting, of door stikstof depositie.

Watervoorziening

Bij hogere temperaturen kan de lucht meer vocht bevatten. Hierdoor neemt, bij gelijkblijvend absoluut vochtgehalte, de drogende werking van de atmosfeer toe. Dit effect wordt enigszins gecompenseerd doordat planten bij een verhoogde CO₂-concentratie efficiënter met water omgaan. De huidmondjes in de bladeren gaan bij een hogere CO₂-concentratie minder ver open. Daardoor neemt de verdamping, en dus het watergebruik, bij een gelijkblijvend bladoppervlak met 10 - 20 % af voor de gewassen gras, tarwe, aardappel en veldboon. Omdat anderzijds de groei van het gewas bij hoog CO₂ wordt gestimuleerd, zal het bladoppervlak in de regel groter zijn, waardoor de verdamping per eenheid grondoppervlak in de beginfase van de gewasontwikkeling juist weer sneller toeneemt. Wat het netto resultaat zal zijn, is echter sterk afhankelijk van weersinvloeden. Voor Nederlandse omstandigheden is een (geringe) toename van de gewasverdamping, te verwachten. Hierdoor ontstaan grotere risico's voor de droogteschade aan de vegetatie en aan de landbouwgewassen. Deze risico's worden verder geaccentueerd door het vaker voorkomen van de (extrem) droge en warme zomers.

Bestrijden van plagen

Vooraf veranderingen van de temperatuur in het winterseizoen hebben grote gevolgen voor het overleven van insecten. Een verhoogde temperatuur versnelt de ontwikkeling en de insecten zijn sneller vruchtbaar. Ook de bestrijding van schimmels zal meer aandacht vragen vanwege de hogere temperaturen en langere periodes waarin bladeren vochtig zijn. Het is tevens te verwachten dat pathogenen uit mediterrane gebieden in Nederland zullen binnendringen. Kwantitatieve uitspraken zijn momenteel niet te maken omdat de complexiteit op dit punt te groot is.

Zaaien en oogsten

Simulatiestudies met aardappel en tarwe toonden aan dat een verhoging van de temperatuur een verkorting van de groeiperiode teweegbrengt door een versnelde veroudering van de bladeren en een versnelde afrijping van zaden. De positieve effecten van een hogere temperatuur op de "voorjaarsgroei" worden hierdoor tenietgedaan. Een hogere voorjaarstemperatuur maakt daarentegen vroege zaai mogelijk. Vroege zaai brengt risico's voor nachtvorst met zich mee. Ook hier geldt, dat een goede inschatting van die risico's nadere studie behoeft.

3.2.3 EFFECTEN VAN KLIMAATVERANDERING OP GRASLANDEN

Graslanden zijn van cruciaal belang voor een bestendige opslag van koolstof als humus. Het grasland areaal is op wereldschaal ca 1800 Mha en groeit jaarlijks aanzienlijk, met 4-8 Mha, voornamelijk door ontbossing. Natuurlijke graslanden kunnen zeer grote hoeveelheden

koolstof opslaan in de bodem en zijn daardoor interessant als demper voor de atmosferische CO₂-toename. De totale hoeveelheid bovengrondse en ondergrondse koolstof in natuurlijke graslanden is per eenheid oppervlakte zelfs vergelijkbaar met die van tropische regenwouden. Gemiddeld wordt in grasland ongeveer 40% van de netto fotosynthese in de microbiële of organische koolstof van de bodem opgeslagen. Deze fractie is afkomstig van dode wortels en stoppels en voor een deel uit exudaten die door de wortels werden uitgescheiden. Bij hoog CO₂-gehalte in de atmosfeer (een van de belangrijkste oorzaken van de klimaatverandering) is deze fractie 50% hoger dan bij laag CO₂. Tegen de achtergrond van de hoeveelheid koolstof, in de vorm van humus, die in een humusrijke bodem aanwezig is (320 ton per ha) resulteert de CO₂ verdubbeling in een toename van de organische stof met 0.5-2% per jaar, ofwel tussen 1,6 en 6 ton koolstof per hectare per jaar. Dit getal is vergelijkbaar met de allernieuwste schatting van de koolstofvastlegging door zowel Europese als tropische bossen onder huidig niveau van de atmosferische CO₂-concentratie.

3.2.4 KLIMAATVERANDERING EN TEELT VAN ENERGIEGEWASSEN

Een lage netto energieinvoer in het landbouwkundig systeem kan behalve door een hoger productierendement worden verkregen door plantaardige productie te gebruiken voor primaire energieopwekking. Een belangrijk bijkomend voordeel is dat met de vastlegging van CO₂ in een gewas en het vrijmaken hiervan bij de verbranding een gesloten koolstofcyclus verkregen is waarbij netto geen CO₂ wordt geëmitteerd. Het gewas dient als collector- en opslagsysteem van zonne-energie. Dit vermindert de afhankelijkheid van energie-import en leidt bovendien tot een vermindering van de netto CO₂ uitstoot.

Door een verwachte afname van het landbouwareaal zal er in de toekomst meer grond beschikbaar komen voor de teelt van energiegewassen. De fysieke opbrengst van de energiegewassen zal met de klimaatverandering toenemende effect dat vergelijkbaar is met belangrijkste landbouwgewassen. Op dit moment bestaan er nauwelijks experimentele en/of model gegevens over de verwachte productietoename van de belangrijkste energiegewassen als het klimaat verandert. Voorlopig kan men uitgaan van een voorzichtige schatting van minimaal 20 % productietoename bij de verdubbeling van de atmosferische CO₂-concentratie.

De hoeveelheid land die in de EU voor energiegewassen beschikbaar is wordt geschat op maximaal 15-21 miljoen hectare. Bij intensief gebruik kan daarmee 8 % - 10 % van het huidige energiegebruik in Europa worden gedekt, en dit percentage kan door de productie verhoging verder gaan toenemen. De productie van energiegewassen kan op dit moment niet zonder subsidie. Schattingen van het CLM, gebaseerd op de meest rendabele techniek, het bijmengen van populier en wilg in elektriciteitscentrales vereisen een subsidie van 500 ECU per ha op jaarbasis. In het ALTERNER programma van de Europese Commissie wordt een bijdrage van 8 % tot doel gesteld voor alle duurzame energiebronnen tezamen.

De belangrijkste nadelen van energiegewassen zijn het grote beslag dat wordt gelegd op het land- en watergebruik en de bodem- en luchtverontreiniging als gevolg van bemesting en pesticiden en de verbranding van biomassa waarbij toxische verbindingen worden gevormd. De energie opbrengst per ha ligt tussen 67 and 611 GJ/ha/jaar. Dat is een factor 7 tot 70 lager dan die gerealiseerd wordt met foto-voltaïsche technieken en met windenergie waarbij opgemerkt moet worden dat de kostprijs van deze technieken vele malen hoger is dan de kostprijs van biomassa productie.

De meest rendabele energiegewassen zijn populier en wilg. De drogestofproductie van deze soorten ligt, in een snelle rotatie, tussen de 10 en 15 ton per hectare; deze zou door klimaatverandering met 3 - 5 ton per hectare kunnen toenemen. De drogestof bevat ongeveer 30% lignine, 64% koolhydraten, 2% eiwit, 3% vetten en 1% mineralen. Dit komt overeen met een koolstofgehalte van 53%.

Energetisch levert 1 m² "energiebos" het equivalent van 1m³ aardgas. De energie inhoud van 1m³ Gronings aardgas is 35.17 MJ/m³, hetgeen gelijk is aan de ingestraalde zonne-energie per m² op een zeer zonnige zomerdag ofwel 1 - 1.5 % van de totale jaarlijks ingestraalde zonne-energie per m².

In de nabije toekomst en onder de invloed van de klimaatverandering is te verwachten dat watergebruik een productieve aspect wordt dat mede bepalend wordt voor de haalbaarheid van de teelt van energiegewassen. Per ha wordt in Nederland tussen 2 miljoen en 5 miljoen liter water door het gewas verdampt ofwel 200 tot 500 liter water per m³ aardgas equivalent. Dit is een kostbare investering voor een relatief laagwaardig product.

Niettemin, het gebruik van biomassa heeft een positief effect op de CO₂-balans. Weer uitgaande van een snelle rotatie van wilg en populier, dan wordt er 18 tot 27 ton CO₂ per hectare per jaar vastgelegd wat equivalent is aan 10.000 - 15.000 m³ aardgas.

3.2.5 Kennishiaten

In vrijwel alle effectenstudies wordt gewerkt met gemiddelde toename in temperatuur en gemiddelde veranderingen in neerslag. Voor gewasgroei zijn echter niet alleen de gemiddelde veranderingen van belang maar nog meer de frequentie waarin extreme condities kunnen worden verwacht. Een extreem lage temperatuur op een heldere dag in het voorjaar kan een totale oogst teniet doen zonder dat de gemiddelde temperatuur over het seizoen merkbaar verandert. Studies waarin de dynamiek van klimaatverandering en gewasresponse wordt gekwantificeerd worden in de nabije toekomst cruciaal.

Specifiek onderzoek is verder nodig naar

- Evaluatie van productiepotentieel in relatie tot waterbeschikbaarheid en klimaatverandering in West Europa. Dit onderzoek kan worden gekoppeld aan verwachte veranderingen in landgebruik en aan politieke scenario's. Maatschappelijk ontwikkelingen spelen een belangrijke rol. Acceptatie van genetisch gemodificeerde gewassen kan bijvoorbeeld tot een ander landbouwproductiesysteem leiden dan blijvend verzet daartegen. Mate van acceptatie van de terrestrische koolstofsinks als een instrument van het klimaatbeleid is een ander voorbeeld dat tot grote veranderingen in Europese landbouwareaal kan leiden.
- Interactie tussen de stikstof bemesting en de klimaatverandering. Zeer belangrijk is de vraag of de stikstof limiterend wordt ten aanzien van de te verwachten landbouwproductievermeerdering
- Veranderingen in koolstofopslag (bijvoorbeeld in graslanden)
- Effecten van extreme weerscondities, bijvoorbeeld korte extreme droogte, die in het toekomstig klimaat vaker zullen voorkomen. Wat gebeurt er als de 1999 hittegolf in de mediterrane regio met temperaturen tot 50 °C regelmatig terug gaat keren?

3.3 Aquatische biomassa en visserij

Het mariene ecosysteem is een complex samenspel tussen klimaat, zeestromingen, nutriënten, sedimenten en levende organismen. Er zijn vele aanwijzingen dat dit systeem zich in plaats en tijd in verschillende samenstellingen in stand kan houden. Het mariene ecosysteem kan ook van nature sterk variëren - zeer snelle veranderingen in bvb de dominantie van soorten en cyclische variaties komen in vele delen van het ecosysteem voor. Uit dit systeem wil de visserijsector zoveel mogelijk producten duurzaam oogsten met een constante of zelf stijgende economische opbrengst (Lindeboom & Fonds, 1998). De vraag is of dit kan als de klimaatverandering doorzet zonder ten koste te gaan van de natuurwaarden van de wereldzeën.

De visserij is een sector die op globale schaal reeds grote problemen kent: massieve overbevissing in een aantal regio's, conflicten tussen de visserijvloot en andere gebruikers van de aquatische ecosystemen, het verdwijnen van wetlands, het aantasten van de natuurlijke kweekgebieden door vervuiling van de kustzones, etc. De effecten van klimaatverandering zullen de reeds bestaande druk op de wereldvisserij op bijna alle gebieden doen toenemen. Als de klimaatverandering volgens de IPCC projecties doorzet, zal deze waarschijnlijk een veel groter effect hebben op de visserij sector dan de huidige overbevissing.

"Global warming" zal sommige takken van de visserij doen verdwijnen en andere juist sterk stimuleren. Het zal een van de belangrijkste factoren zijn die de ontwikkeling van de wereldvisserij komende honderden jaren gaan bepalen (IPCC, 1995)

Mondiaal worden de effecten van de klimaatverandering op de visserij over de komende 50 - 100 jaar als volgt geschat (IPCC, 1995):

- De totale wereldproductie van zowel zoutwater- als de zoetwatervis zal ongeveer op het huidige niveau blijven of kan zelfs toenemen met de verbeteringen in visserijmanagementpraktijken. Dit is echter gebaseerd op de aanname dat de (tussen-) jaarlijkse klimaatvariabiliteit, en zowel de structuur (dominerende richtingen) als sterkte van windvelden en oceaanstromingen door klimaatverandering niet of nauwelijks veranderen. Mocht echter een of meerdere van deze klimaatkarakteristieken veranderen, dan verwacht men ingrijpende gevolgen voor de natuurlijke (her)verdeling van de belangrijkste vispopulaties, en voor de voorraden van de aquatische biomassa over de werelddoceanen.
- Zelfs bij afwezigheid van significante verschuivingen in de wind- en oceaanstromingen zullen de bestaande voornaamste visvangstgebieden zich geografisch gaan verplaatsen, wat gepaard gaat met veranderingen in de vismigratieroutes en in de samenstelling van de vissoorten in de belangrijkste visvangstgebieden.
- Nationale visserijsectoren zullen door de snelle ruimtelijke verschuivingen in de aquatische biomassa grote economische schade lijden, of kunnen zelfs verdwijnen; als er niet tijdig nieuwe politieke instrumenten worden ontwikkeld voor de transnationale visserij.
- Visserijen in zogenaamde Exclusive Economic Zones (EEZs), waaronder de Noordzee visserij, zullen naar verhouding het snelst in de problemen komen, als de bovengenoemde (klimaat)ontwikkelingen door gaan zetten.

De klimaatsinvloeden (stormfrequentie, windrichting) en de atmosferische omstandigheden hebben ook veel verband met de dynamiek van de aquatische biomassa in Noordzee, hoewel over de causale verbanden en over de gevolgen van klimaat- verandering voor de Noordzeevisserij weinig informatie in de literatuur te vinden is.

Opvallend is bijvoorbeeld dat de veranderingen in het mariene ecosysteem aan het eind van de jaren 70, samenvallen met het binnenkomen van zogenaamde grote zoute anomalie (Lindeboom en Fonds, 1998). Dit was een hoeveelheid oceaanoewater, die door langdurige stagnatie voor de kust van Groenland een lagere zoutconcentratie had gekregen dan normaal is. Ook het voorkomen van haringen in bepaalde delen van Noordzee is Atlantische Oceaan, lijkt gekoppeld te zijn aan veranderende oceaanstromingen. Een verklaring voor de variatie in groeisnelheid van noordkrompen wordt gezocht in cyclisch veranderende stromingen in de centrale en Noordelijke Noordzee.

Mariene ecosystemen in de Noordzee zijn dus niet constant van samenstellingen of biomassa maar vertonen grote jaarlijkse en meer- jaarlijkse variatie, waarvoor de klimaatvariaties in combinatie met meerdere oorzaken verantwoordelijk zijn. Klimaatverandering op de tijdschaal van komende 50 tot 100 jaar zal deze variaties doen toenemen. Op dit moment ontbreekt het aan zowel de gegevens als de proceskennis om de gevolgen voor de Nederlandse visserijsector te kwantificeren. Echter, zoals voorgesteld in de recente NRLO rapport (1998), er zijn veel gerichte maatregelen in de Nederlandse visserijsector mogelijk om de gevolgen van deze natuurlijke variatie op te vangen en hierdoor gelijk beter anticiperen op de mogelijke gevolgen van klimaatverandering.

Klimaat - visserij interactie: El-Niño

Een meest concrete en tastbare illustratie van de sterke relatie tussen klimaat (-variabiliteit) en visserij komt op rekening van El-Niño: een periodiek terugkerende klimaatfenomeen dat variaties in oceaanstromingen-, wind en temperatuur veroorzaakt. Met name de El-Niño in 1972, maar ook in 1983 en in 1997, hebben, in combinatie met reeds gaande overbevissing, tot een persistente en langdurige economische crisis in uitgestrekte ansjovis en sardine -visserijgebieden langs de Zuid – Amerikaanse kust geleid.

Sommige effecten van El-Niño kunnen zeer langdurig zijn. Zo zijn de vangsten van de zalm in 1980- 1984 sterk gedaald (en prijzen gestegen) vanwege de veranderingen in de migratieroutes. Grijze walvissen hebben in dezelfde periode hun habitat meer naar het Noordelijke deel van het oceaan verplaatst. El-Niño in 1982-83 heeft voor grotere vangsten gezorgd van onder andere tonijn in de kustwateren van Chili en Peru. Het is ook bekend dat tijdens de El-Niño episodes de vangsten van bepaalde soorten in het Canadese deel van het Pacifische Oceaan toenemen, wat ten koste gaat van de vangsten in de Amerikaanse wateren.

3.4 Recreatie en toerisme

Recreatie en toerisme in Nederland (en overigens ook mondiaal) is een sector die zowel indirecte als directe gevolgen van de klimaatveranderingen kan ondervinden. De sector staat bekend als zeer gevoelig voor de korte (seizoen) tot middellange (jaar) weer- en klimaatschommelingen. Klimaatveranderingen kunnen dus belangrijke structurele veranderingen in de sector brengen. De Raad voor het Landelijk Gebied heeft in haar rapport (1998) verschillende facetten van de mogelijke effecten geïnventariseerd. Wij beperken ons tot de opsomming van de belangrijkste verwachte effecten:

Algemeen

Stijging van de jaargemiddelde temperatuur en de langere zomers bieden op termijn nieuwe perspectieven voor de openluchtrecreatie. Er is sprake van een verlenging van het recreatieseizoen. Met name in de voor- en naseizoen zou de omvang van het binnenlands en internationale toeristisch recreatieve verkeer hierdoor gaan toenemen.

Door de stijging van de gemiddelde luchttemperatuur stijgt ook de temperatuur van oppervlaktewater, waardoor de toeristisch-recreatieve betekenis van de Nederlandse oppervlakte wateren voor watergebonden recreatie toeneemt. Daar tegenover staat echter de zorg om het behoud van goede (zwem)waterkwaliteit. De stijging van de gemiddelde oppervlaktewatertemperatuur geeft in voedselrijke omstandigheden aanleiding tot langdurige eutrofiëringsverschijnselen, zoals algenbloei en zuurstofloosheid. In zoete wateren kunnen hierdoor gedurende de zomerperiode in toenemende mate kwaliteitsproblemen ontstaan. Dit kan gevolgen hebben voor de functievervuiling van de oppervlakte wateren, waaronder waterrecreatie en recreatievisserij.

Het gemiddeld aantal ijsdagen per jaar zal in Nederland gaan afnemen, waardoor de toeristisch-recreatieve betekenis van de wintersporten zal afnemen. Het is dus vrijwel zeker dat Nederland in de volgende eeuw veel minder wintersportevenementen op natuurlijke ijs (Elfstedentocht) gaat meemaken.

3.4.1 Regiospecifieke effecten

Rivierengebied

Verblijfsrecreatievoorzieningen in de winterbeddingen zullen in toenemende mate worden geconfronteerd met frequente inundaties; dit leidt mogelijk op middellange termijn tot de afname van het aantal en omvang van deze recreatievoorzieningen

De ruimte en perspectieven voor water- en natuurgerichte dagrecreatie zal toenemen (wandelen, fietsen); dit vanwege de grotere gevarieerdheid, toenemende wateroppervlak en na herinrichting, betere toegankelijkheid van de uiterwaarden.

IJselmeergebied

Periodiek optredende lagere zomerwaterpeilen kunnen de toegankelijkheid van het IJselmeer voor de recreatie (en visserij) vloed belemmeren; in de zomer kan de waterkwaliteit afnemen (eutrofiering). De stijgende winterpeilen zullen de functie van buitendijks gesitueerde recreatiefaciliteiten aantasten.

Hoog Nederland

Veranderingen in grond- en oppervlaktewaterhuishouding zullen bijdragen aan grotere diversiteit, begroeiingspatroon en ruimtegebruik; dit is positief voor recreatieve belevingswaarde.

Laag Nederland

Perspectieven voor de watergebonden recreatie zullen sterk afhangen van de onder de invloed van hogere temperaturen verslechterde waterkwaliteit en van hoe adequaat de (beleids)maatregelen voor het behoud van oppervlaktewaterkwaliteit worden. Er ontstaan nieuwe perspectieven voor de meekoppeling voor water- en oeverrecreatie.

De belevingswaarde van het landschap en cultuurhistorie in het algemeen.

De verwachte veranderingen in de duinen en Noordzeekustzone kunnen in samenhang met een daarop afgestemd kustbeheer leiden tot meer natuurlijke overgang van zee naar strand en duinen en tot natuurlijker en gevarieerder duinlandschap.

Actieve herinrichting en aanpassingactiviteiten in de winterbeddingen van de rivieren, als gevolg van de veranderde stromingsregime in de winter en in het voorjaar, kunnen de historisch gegroeide landschappen drastisch veranderen; hierbij kunnen veel van de cultuurhistorische waarden verloren gaan. Bij de verruiming van de winterbed kan men proberen aan te sluiten op de historische inrichting en de functies van deze gebieden.

3.4.2 DISCUSSIE

Per saldo lijkt dus de recreatie sector in Nederland bij de klimaatverandering veel baten te hebben, en als de nodige maatregelen efficiënt en tijdig worden geïmplementeerd, kan de sector zelfs tot de selecte groep van overwinnaars behoren - de groepen in Nederland die naar de verwachting onder de klimaatverandering een versnelde groei laten zien.

Echter, er is ook een aantal potentiële en serieuze bedreigingen:

- Door de toegenomen aantal zonnenuren, en in combinatie met het dunner worden van de ozonlaag, neemt de risico van de blootstelling aan de zeer schadelijke UV-B straling aanzienlijk toe. Dit risico wordt groter naarmate het zomer- en recreatie seizoen langer wordt. UV-B straling kan bij de mensen huidkanker veroorzaken en het immunologische systeem aantasten. De volksgezondheid kan hierdoor ernstig in het geding komen.

- Het “mooie weer” dat veel vaker voorkomt dan nu, het langere recreatieseizoen en het toenemende aantal vrije dagen in Nederland en in omliggende landen (Duitsland) leiden samen gedurende de komende decennia tot een zeer expansieve groei in de recreatiesector. Echter, de recreatietransport, -logistiek en -infrastructuur zal deze ontwikkelingen naar verwachtingen niet kunnen bijbenen, deels omdat ruimte een beperkende factor blijft. Hierdoor dreigt Nederland gedurende de komende decennia tijdens recreatie- piekperiodes regelmatig “ dicht te slibben”. Dit zal uiteindelijk weer een negatieve weerslag hebben op de recreatie –en toeristische sector zelf.

4. Mondiale vraagstukken rond effecten van klimaatverandering en "Global Change" in relatie tot het LNV- beleidsdomein

Klimaatverandering is een mondiaal probleem dat zich overal ter wereld manifesteert, zij het in elke regio op verschillende wijze. Het is aannemelijk dat vele gebieden vooral op het zuidelijk halfrond, aanzienlijk kwetsbaarder blijken voor klimaatverandering dan het economisch hoog ontwikkelde Nederland en West Europa. Klimaatverandering kan in die gebieden vele gevolgen hebben, zoals de afname van bodemvruchtbaarheid, verdroging, problemen met de voedselproductie en verlies van de natuurwaarden. Allergrootse deel van deze problemen gaan zich afspelen in het landelijk (ruraal) gebied. Aan Nederland zullen deze gevolgen niet voorbij gaan. Echter, er liggen ook grote kansen voor de implementatie van het Nederlandse klimaatbeleid via JI en CDM maatregelen. De Noord- Zuid aspecten van het klimaatprobleem verdienen daarom speciale aandacht.

4.1 Duurzame voedselproductie en voedselvoorziening

De effecten van klimaatverandering op de mondiale voedselvoorziening kunnen relatief beperkt blijven als de klimaatverandering volgens huidige inzichten en verwachtingen doorzet en als de wereld voedselvraag op huidige niveau blijft. *Echter, de verwachte groei van de wereldbevolking in combinatie met klimaatverandering, waarbij ook ziekten, plagen en onkruid gaan toenemen, zullen naar verwachting zeer ingrijpende gevolgen hebben voor mondiale voedselbeschikbaarheid.* In combinatie met mogelijke niet-lineaire klimaatveranderingen en het optreden van de klimaatextremen kunnen de gevolgen in sommige regio's desastreuze vormen aannemen.

Door de klimaatveranderingen zullen de productiezones verschuiven en er zullen regionaal problemen ontstaan. Gebieden waarin historisch op beperkte schaal landbouw mogelijk is en waarin men door de economische situatie geen of beperkte toegang heeft tot technologische alternatieven, zullen door een kleine verandering in neerslag en verhoging van temperatuur sterk gaan lijden. Een voorbeeld van een gebied dat nu al op de grens van een "climax" verkeert is de Sahel. Sinds de jaren zestig is de neerslag in de Sahel elke jaar minder geweest dan het langdurige, historische gemiddelde (figuur 6).

Dit wordt deels toegeschreven aan de natuurlijke klimaatvariabiliteit en deels beschouwd als een attribuut van de klimaatverandering. Echter, een intensief onderzoek naar de interacties tussen landgebruik en het klimaatsysteem in de Sahel (Xue and Shukla, 1993) heeft kunnen aantonen dat de wijze van landgebruik zelf grotendeels schuldig kan zijn aan de achteruitgang van de neerslag in de Sahel. Hierbij is de Sahel een concreet voorbeeld van een regio waar het landgebruik en dubbele rol heeft in het klimaatsysteem (zie ook hoofdstuk 2 van deze quickscan).

In de Sahel hebben overbegrazing en houtkap tot vergaande degradatie van bodems en vegetatie geleid; dit heeft waarschijnlijk sterk bijgedragen aan de klimaatveranderingen in dit gebied van de laatste decennia. Regenval is aanmerkelijk minder frequent geworden. Hierdoor worden de onzekerheden ten aanzien van optimale zaaitijd groter, en de gemiddelde gewasopbrengst lager.

Figuur 6. Neerslag in de Sahel 1950 - 1990

Echter, ook andere typen van de weerextremen die als gevolg van klimaatverandering in de toekomst steeds vaker gaan optreden, zoals de zware overstromingen, orkanen en grootschalige branden kunnen de landbouwoogsten in hele regio's volledig vernietigen, getuige enkele recente gebeurtenissen in Azië en Zuid-Amerika.

Een bijkomend probleem is dat met een toename van de atmosferische CO₂-concentratie het eiwitgehalte in de biomassa afneemt. Dit heeft consequenties voor mensen en dieren die het eiwit uit planten voor hun dieet nodig hebben. Hierdoor kunnen problemen ontstaan als zij van nature al een voedingspakket hebben waarin weinig eiwitten voorkomen, zoals vaak het geval is in (sub)tropische landen.

De exacte omvang van klimaatsverandering is vooralsnog onzeker. De aard en omvang van de gevolgen van klimaatverandering kunnen zowel positief als negatief zijn. Toch is het belangrijk, aan de hand van huidige inzichten en met gebruik van beschikbare scenario's en modellen indicatieve voorspellingen te doen over hoe zich de mondiale voedselsituatie zal ontwikkelen als de klimaatverandering lineair doorzet. Tabellen 4 en 5, geven aan de resultaten van voorspellingen met drie verschillende klimaat- en landbouwopbrengstmodellen (Fischer et al, 1996).

In de tabellen 4 en 5 heeft men met volgende aannames gewerkt:

- atmosferische CO₂ concentratie in 2060 wordt 555 ppm (dus minder dan de verdubbeling van de huidige concentraties)
- Adaptatie niveau 1: geen ingrijpende veranderingen in de landbouwpraktijken; samenstelling van gewassen in regio's onveranderd; wel aanpassingen in management (tijdstop zaaien, watergift, efficiëncy bestrijding ziekte en plagen, etc)
- Adaptatie niveau 2: zeer ingrijpende veranderingen in de landbouwpraktijken; overgang naar andere gewassen, nieuwe technologieën etc .

Deze resultaten geven duidelijk aan dat de grootste problemen zouden ontstaan in de ontwikkelingslanden. Zonder enige adaptatie maatregelen zal de GDP vanuit de landbouw in deze landen met 20% kunnen dalen. Zelfs met vergaande adaptatie maatregelen in de periode tot 2060 (adaptatie niveau 2), wat voor de derde wereld een onwaarschijnlijk scenario is, kan het landbouw aandeel in het GDP met 10% dalen. Maar ook in westerse landen zijn vergaande investeringen en aanpassingen aan landbouwpraktijken nodig (adaptatie niveau 2) om de

bijdrage van de landbouw aan het GDP op het huidige niveau te kunnen handhaven. De wereldmarkt prijzen van alle landbouwgewassen zullen naar verwachting met enige tientallen procenten gaan stijgen.

Tabel 4 Voorspellingen van effecten van klimaatverandering op de landbouwproductie met drie verschillende klimaat- en landbouwopbrengstmodellen (Fischer et al, 1996).

	Graanproductie % verandering	Productie alle landbouwgewassen % verandering	GDP vanuit landbouw % verandering
Wereld totaal			
Zonder fysiologische effecten van de verhoogde CO2 op de gewassen	- 22,1	-24.9	- 33.4
Met fysiologische effecten van de verhoogde CO2 op de gewassen	- 5.1 tot + 2.8	- 9.0 tot + 0.3	- 18.2 tot - 8.9
Adaptatie niveau 1	- 1.7 tot + 2.8	- 5.5 tot + 0.3	- 12.9 tot - 8.3
Adaptatie niveau 2	+1.4 tot + 4.6	- 1.1 tot + 1.0	- 6.1 tot - 3.3
Ontwikkelde landen			
Zonder fysiologische effecten van de verhoogde CO2 op de gewassen	-13,9 tot - 6.1	-21.3 tot - 15.3	-30.4 tot - 27.1
Met fysiologische effecten van de verhoogde CO2 op de gewassen	+2.6 tot + 18.6	-5.1 tot + 9.6	-15.8 tot - 3.2
Adaptatie niveau 1	+ 7.8 tot + 18.6	+0.1 tot + 9.9	- 6.7 tot -0.1
Adaptatie niveau 2	+ 7.8 tot + 18.7	+3.3 tot + 9.9	- 2.8 tot + 1.4
Ontwikkelingslanden			
Zonder fysiologische effecten van de verhoogde CO2 op de gewassen	-26.7	-27.3	- 35.2
Met fysiologische effecten van de verhoogde CO2 op de gewassen	-11.2 tot - 0.7	-12 tot - 1.8	-20.1 tot - 10.2
Adaptatie niveau 1	- 9.2 tot -0.7	-10.0 tot - 1.8	-17.8 tot -10.1
Adaptatie niveau 2	-3.6 tot + 1.4	- 4.5 tot +0.6	- 8.7 tot - 4.3

Tabel 5: Percentuele verandering van de wereldmarktprijzen in 2060 gebaseerd op de voorspellingen van effecten van klimaatverandering op de landbouwproductie met drie verschillende klimaat- en landbouwopbrengstmodellen (Fischer et al, 1996).

	Granen	Alle landbouwgewassen
Zonder fysiologische effecten van de verhoogde CO2 op de gewassen	+306 tot +818	+70 tot +592
Met fysiologische effecten van de verhoogde CO2 op de gewassen	-21 tot +145	-25 tot + 90
Adaptatie niveau 1	+13 tot +98	+2 tot +67
Adaptatie niveau 2	- 4 tot +36	-8 tot +25

Resultaten in deze tabellen onderstrepen nog eens het cruciale belang van het goed begrijpen van de koppelingsmechanismen tussen het landgebruik, vegetatie en de atmosfeer & klimaat. De fysiologische effecten van de verhoogde atmosferische CO₂ op de groei van gewassen is een

voorbeeld van deze terugkoppelingsmechanismen. Model resultaten, waarbij deze koppelingen niet worden meegenomen, laten onwaarschijnlijk hoge effecten zien.

Belangrijk vragen en dilemma's

Duurzame voedselproductie staat centraal. De lokale voedselvraag zal door de verwachte bevolkingsaanwas sterk toenemen. Door intensievere landbouwmethoden en expansie van de landbouwvelden zal aan deze vraag voldaan moeten worden. De noodzaak om duurzame alternatieve productiemethoden te vinden wordt steeds groter. Bij deze zoektocht naar alternatieve productiesystemen is klimaatverandering een essentieel element.

De problematiek van de effecten van klimaatverandering op de voedselvoorziening in ontwikkelingslanden concentreert zich op volgende (integrale) vragen waarmee de internationale beleidsmakers en de nationale besturen worden geconfronteerd (Parry et al., 1998):

- Zal klimaatverandering een significant effect hebben op de lokale voedselproductie?
- Zal klimaatverandering de jaarlijkse variatie van voedselproductie doen toenemen?
- Zal klimaatverandering de export bedreigen?
- Zullen de politieke besluiten tav. prijzen, steun aan rurale bevolking, onderzoek dienen te wijzigen?
- Zullen prijzen van voedsel, energie en water prijzen als gevolg van klimaatverandering omhoog gaan?
- Zal als gevolg van klimaatverandering de druk op de natuurlijke bestaansbronnen (bodem, water, atmosfeer) toenemen?
- Is een land in staat eventuele productie verliezen op te vangen door bv voedsel te importeren?

Vragen waar de landbouwer centraal staat zullen een ander accent hebben:

- Welke onderdelen van de landbouw zijn meest kwetsbaar en verdienen speciale aandacht?
- Voldoen de aanwezige water en mest bronnen om stress situaties op te vangen?
- Zijn de programma's gericht op het beheer van de natuurlijke bestaansbronnen adequaat?
- Dient de gevolgde landbouwstrategie te worden gewijzigd?
- Zijn de ondersteunende instituten: voorlichting, onderzoek in staat de landbouwers te adviseren?

Een belangrijke vraag is of men het beleid richt op de economisch belangrijke sectoren of op de agro-ecologisch en sociaal economisch kwetsbare sectoren en actoren.

Om enige mate van voedselzekerheid te bereiken in de ontwikkelingslanden onder condities waarbij zowel de klimaatverandering als andere "global change" componenten een grote rol gaan spelen, heeft men ruwweg de volgende opties ter beschikking (Dietz en Verhagen, in press)

- Binnen de landbouw
 - Directe intensivering van de voedselproductie, verhoging van productieniveaus
 - Indirecte intensivering door specialisatie voor een externe markt
- Buiten de landbouw
 - Verkrijgen van voedsel door het verkopen van niet-agrarische producten
 - Verkrijgen van voedsel door het verkopen van diensten
 - Verkrijgen van voedsel door het verkopen van arbeid
 - Verkrijgen van voedsel door regelingen voor sociale zekerheid (formeel en informeel)
 - Verkrijgen van voedsel door stelen en voeren van oorlogen
 - Reductie van de voedselbehoefte door verlaging van de voedselvraag, bv. door migratie

Wij beperken ons tot mogelijke oplossingen binnen de landbouw. In het algemeen zal een land of individu een combinatie van opties kiezen.

Directe intensivering van de voedselproductie

Verhoging van de productie kan bereikt worden door de inputs te optimaliseren of via uitbreiding van het productie areaal. Dit kan via bemesting, irrigatie, bestrijding ziekten en plagen, mechanisatie maar ook via de introductie van nieuwe voedselgewassen of gewas combinaties die beter aangepast zijn aan de gewijzigde groeiomstandigheden.

Indirecte intensivering door specialisatie voor een externe markt

Het succes van deze optie hangt sterk af van de te verwachten netto winst die te behalen is. In hoeverre de voorgestane globale handelsliberalisatie dit proces beïnvloed is nog onduidelijk. Producten die deze niche in het recent verleden hebben gevuld zijn bv. katoen, banaan, koffie, soja, pinda maar ook houtskool en vlees. In hoeverre hier als gevolg van klimaatverandering wijzigingen in zullen optreden zal sterk door economische krachten bepaald worden. Nu heeft bv Senegal een duidelijke keuze gemaakt voor de inwisseling van pindas voor granen. Verschuivingen naar voedsel gewassen voor de lokale markt of inzet in een ander markt (bv. bloemen) zijn opties die open staan.

De verschuiving van mogelijkheden en de gevolgen voor de kwaliteit van het productiesysteem kunnen bepaald worden via agro- ecologische model studies. Hierbij worden de productie niveau, evenwichtige nutriëntenbalans en waterbehoefte als kwaliteitsindicatoren gebruikt bij het zoeken naar duurzame productiesystemen zij

De voornaamste kennishiaten liggen nog steeds in:

- links tussen voedsel productie en water -, energie en ruimte vraag.
- criteria voor duurzaamheid van agroproductie: het definiëren van efficiënte productie systemen rekening houden men sociaal-economische en milieu randvoorwaarden met aandacht voor geïntegreerde landbouwsystemen, precisie landbouw.
- de ketenbenadering van veld naar consument en de gevolgen voor de koolstof, stikstof water en cyclus.
- de rol van (klimaatextremen: schok- en stress effecten op productie systemen; gevolgen van droogte, extreme temperaturen op productie niveau en kwaliteit van het productie proces.

4.2 Tropische bossen

Tropische regenwouden worden algemeen beschouwd als ecosystemen die in een 'climax' stadium verkeren: ze veranderen weinig over de tijd, groeien gemiddeld genomen niet meer, en zijn uitermate divers wat betreft levensvormen. Wat nog wel eens vergeten wordt is dat het ook gaat om een uiterst dynamisch evenwicht dat erg kwetsbaar is voor verstoringen van buitenaf. Tegelijkertijd hebben tropische bossen een zeer grote en grootschalige invloed op het regionale en mondiale klimaat en waterhuishouding. Het is de laatste jaren meer en meer duidelijk geworden dat met name het Amazonegebied een grote sink kan vertegenwoordigen voor atmosferisch CO₂, waardoor deze bossen een bufferende werking hebben op de oorzaken van het broeikas effect.

Koolstofbalans en klimaatverandering

Volgens de nieuwste inzichten kan de sinkgrootte van een "ongestoord" tropisch regenwoud variëren tussen de 1 en 5 ton koolstof per hectare per jaar. Hierdoor zijn de tropische bossen een belangrijke kanshebber geworden in het kader van de post- Kyoto Flexibele Mechanismen (JI).

De productiviteit en koolstofvastlegging van het ecosysteem wordt beïnvloed door de beschikbaarheid van water en nutriënten, maar ook door de CO₂ concentraties in de atmosfeer zelf. Het is belangrijk onderscheid te maken tussen productiviteit van planten, en de netto koolstofvastlegging van ecosystemen. Deze laatste grootte houdt ook rekening met de afbraak van strooisel en organische stof in de bodem tot CO₂. Een aanwijzing dat toegenomen CO₂ concentraties direct tot verhoging van de productiviteit hebben geleid, komt voort uit de waarnemingen door o.a. (Grace et al., 1995 en Malhi et al. (1998a,b) in het Amazonegebied

dat het boscysteem over de jaren koolstof heeft opgenomen, terwijl het bij alle waarnemingen ogenschijnlijk ongestoord, volgroeid bos betrof.

Een belangrijke vraag is in hoeverre directe 'CO₂ en de stikstof bemesting' als gevolg van antropogene emissies blijvend zal leiden tot een verhoogde koolstofvastlegging. In theorie is productiviteit ook sterk afhankelijk van de voor het ecosysteem beschikbare nutriënten, als dit ook voor tropisch bossen geldt dan kan bij voorbeeld verwacht worden dat vroeg of laat de koolstof 'sink' die op het ogenblik in de Amazone regenwouden wordt waargenomen verzadigd raakt. De stikstofbeschikbaarheid in het ecosysteem beïnvloedt de directe binding van koolstof uit de atmosfeer. De rol van fosfor en andere mineralen is minder rechtstreeks, alhoewel er veel aanwijzingen zijn dat, vooral in de Neotropen, met name fosfaat de beperkende factor voor de productiviteit is. Gezien de mondiale toename van stikstofdepositie uit de atmosfeer, en het feit dat de meeste bossen veel stikstofbindende soorten bevatten, is het mogelijk dat verzadiging in de praktijk niet zal optreden. Deze vraag is op het ogenblik onderwerp van intensieve experimentele en theoretische onderzoek.

Terwijl CO₂- en stikstoftoenames een potentieel positieve invloed hebben op de koolstofvastlegging, is het waarschijnlijk dat veranderingen in de temperatuur en neerslagpatronen een negatieve invloed hebben, en zelfs tot een neerwaartse spiraal kunnen leiden in biomassa. Zelfs in de ogenschijnlijk altijd vochtige bossen van Centraal -Amazone is er een duidelijke seizoensvariatie in watergebruik en productiviteit, hetgeen aantoont dat de opnameprocessen gevoelig zijn voor het beschikbare vocht in de bodem (Malhi et al, 1998b). Echter, de aanwezige soorten zijn niet aangepast aan grotere seizoensschommelingen. Als door intensivering en prolongatie van El-Niño episodes de droge tijd versterkt wordt, kan de productie sterk achterblijven bij het langjarig gemiddelde, en kunnen bomen afsterven. Als dan ook de frequentie van zulke jaren toeneemt, wat overigens met de klimaatverandering verwacht wordt, dan zal het ecosysteem structureel achteruit gaan.

Interacties met veranderingen in landgebruik

Daarnaast leidt verdroging en sterfte tot verhoogde kans op branden, wat weer leidt tot algehele of gedeeltelijke omzetting van de beschikbare koolstof in de biomassa tot atmosferisch CO₂, verdwijning van de koolstof-sink capaciteit en potentieel regulerende werking op de waterhuishouding. In de laatste, sterke El- Niño episode zijn branden in de marginale zones van tropisch regenwoud gebieden ongewoon destructief geweest. Tevens werd aangetoond dat er veel meer dan eerder werd vermoed 'verscholen' branden woeden in de ondergroei van de bossen, die tot sterke en soms permanente degradatie kunnen leiden.

Waterhuishouding

De centrale vraag is in hoeverre de capaciteit van tropische bossen om waterdamp in regionale circulatie te houden wordt aangetast door klimaatveranderingen. Hoewel temperatuurtoename over het algemeen gepaard gaat met verhoogd watergebruik en – leverantie aan de atmosfeer, is het meer waarschijnlijk dat de directe effecten van klimaatveranderingen zullen leiden tot een afname van verdamping. Ook in tropische bossen. Het is aangetoond dat in hogere CO₂ concentraties de 'huidmondjes' van planten over het algemeen minder water geleiden, terwijl droogte vrijwel altijd leidt tot een afname van de verdampingssnelheid. Daar staat tegenover, dat eventuele toenames in biomassa gepaard kunnen gaan met een verhoogd (verdampend) bladoppervlak en dus relatieve toenames in het watergebruik.

De in de vorige sectie genoemde effecten op de biomassa leiden in dit geval tot aantasting van deze capaciteit, zeker in combinatie met veranderingen in landgebruik zoals ontbossingen. Waar verdamping afneemt, neemt de afstroming toe hetgeen kan leiden tot verhoogde erosie en wegspoelen van nutriënten in bovenlopen en overstromingen in benedenlopen van rivieren.

Biodiversiteit

De meest pessimistische scenario's lijken te wijzen op een degradatie van grote delen van het tropisch regenwoud areaal tot savannes en zelfs woestijnen. Dit zal dan gepaard gaan met een groot verlies aan biologische diversiteit. Daar staat tegenover dat met name de Braziliaanse Savanne gebieden (Cerrado's) de Amazone regenwouden in biologische rijkdom evenaren. Het is een gangbare opvatting dat savannes de overhand hadden in de (daar droge) ijstijden. Echter, zoals met alle door de mens geïnduceerde verschuivingen van vegetatiezones, is het onwaarschijnlijk dat zich in de gedegreerde regenwoudgebieden een vergelijkbare diversiteit kan opbouwen. Het is waarschijnlijker dat zich een betrekkelijk soortenarme vegetatie opbouwt, gemengd met marginale of verlaten landbouwgebieden.

Concluderend

Zoals veel vaker beargumenteerd in de landgebruiks- en ontwikkelingsproblematiek vormen tropische bossen een uiterst belangrijke en krachtige regulator van regionaal en waarschijnlijk zelfs mondiaal klimaat en waterhuishouding, en een enorme bron van biodiversiteit. Tegelijkertijd is deze functionaliteit uiterst kwetsbaar, voor directe menselijke bedreigingen, maar ook voor klimaatsveranderingen in de vorm van toegenomen droogtes en temperatuurtoenames. Terwijl zolang deze functionaliteit blijft bestaan, deze biomen juist een grote bijdrage zouden kunnen leveren aan het voorkomen van die klimaatsveranderingen. Op dit moment worden voorspellingen over dit labiele evenwicht nog overheerst door onzekerheden over de vele positieve en negatieve terugkoppelingen in het systeem, en dus verdient een onderzoeksinspanning op dit gebied een aanbeveling.

4.3 Land en bodem degradatie

Bodemdegradatie

Degradatie van bodems in een veranderend klimaat zal waarschijnlijk beperkt blijven, maar hangt sterk samen met het gebruik door de mens. Daar waar bodems slecht beheerd worden, zijn de potentiële gevolgen van en voor klimaatverandering het grootst. Daar staat tegenover, dat een goed bodembeheer juist een bijdrage kan leveren aan buffering van klimaatverandering. Gevolgen zijn vooral te verwachten in de tropen. De voornaamste potentiële effecten zijn:

- Verhevigde erosie door zowel verhoogde afvoer of verhoogde verstuiving
- Verzilting als gevolg van zeespiegelrijzing
- Verwoestijning
- Afname in de organische fractie en nutriënten
- In bepaalde gevallen een fundamentele verandering in bodemeigenschappen.

Effecten

De voornaamste potentiële veranderingen in bodemprocessen zijn het gevolg van veranderingen in bodemhydrologie, van de koolstofbalans, van bodem plus vegetatie, en van bodem temperatuur (Brinkman en Sombroek, 1996).

Veranderingen in bodemhydrologie kunnen het gevolg zijn van veranderingen in zowel de hoeveelheid en variabiliteit in neerslag, als in evapotranspiratie, die weer het gevolg zijn van veranderingen in temperatuur en instraling (Bullock et al, 1996). *Erosie* treed op bij instabiele of slecht beheerde bodems ten gevolge van extremere neerslag of juist droogte. In het eerste geval treedt overmatige afstroming op, en het tweede geval verstuiving. Waar de seizoensvariabiliteit groter wordt kan een gecombineerd effect optreden. *Verzilting* kan daar optreden waar het neerslagoverschot sterk negatief wordt maar de grondwaterstand hoog is. Ook kan de te verwachten zeespiegelrijzing verzilting veroorzaken als de neerslag niet hoog is. *Verwoestijning* is een complex proces, waar de degradatie van bodems een onderdeel van uitmaakt. Een combinatie een droger of extremer variabel klimaat, gecombineerd met slecht geplande veranderingen in het landgebruik en (bos)branden kunnen tot een vicieuze cirkel

leiden, waar geleidelijk de buffercapaciteit van zowel bodems als vegetatie en klimaat verloren gaat.

Verschillende bodemprocessen kunnen ingrijpend veranderen als gevolg van klimaatverandering (Sombroek, 1990). De meeste zijn gradueel van aard, maar hier en daar kunnen de eigenschappen van de bodem fundamenteel veranderen. Sommige bodems in het oosten van het Amazonegebied, in de Kongo en op Kalimantan kunnen omslaan naar diepe, zeer arme podsols na een relatief kleine toename in neerslag. Andere tropische bodems kunnen bij verdroging verharderen tot 'lateriet'. Sommige tropische lemige bodems kunnen door uitspoeling van de kleifracie sterk verarmen. Dit is een proces dat in Oost-Afrika nu al optreedt als gevolg van ontbossingen. De organische fractie kan zowel toenemen (als gevolg van verhoogde productiviteit), als afnemen (als gevolg van verhoogde afbraaksnelheden). Een toename van die fractie verbetert de bodemstructuur, maar het is waarschijnlijk dat die fractie een lagere koolstof/stikstof verhouding zal hebben waardoor het slechter afbreekbaar is. Dit kan dan weer leiden tot een podsolisatie en verzuring van de bodem.

Een verhoogde afbraaksnelheid gaat gepaard met hogere CO₂ concentraties in de bodem, waardoor enige verzuring en snellere uitspoeling van nutriënten optreedt en ook snellere verwerking van kalkrijke bodems, vooral in bergachtige streken. In Boreale streken zal de permafrost naar het noorden opschuiven als gevolg van de verwachte temperatuur-toename. Dit komt de bodemstructuur ten goede, maar tegelijkertijd zullen deze bodems veel organische stof verliezen als gevolg van verhoogde afbraak.

Terugkoppelingen

Sterk gedegradeerde bodems en verwoestijnende landschappen zijn over het algemeen arm aan vegetatie. De energiebalans van zulke landoppervlakten wordt dan veelal gedomineerd door relatief grote reflectie coëfficiënt en voelbare warmte afgifte, ten koste van de verdamping. Dit heeft regionaal een verdrogend effect op het klimaat, en mondiaal kan een grote verandering in de warmtebalans grootschalige klimaat-circulatiepatronen veranderen. De koolstofbindende capaciteit van vegetaties op gedegradeerde bodems is gering.

Mitigatie

Een zorgvuldig beheer van vooral tropische bodems draagt bij aan mitigatie van zowel bodemdegradatie en klimaatverandering, omdat bufferfuncties behouden worden of zelfs versterkt worden.

4.4 Biodiversiteit

Biologische diversiteit wordt bedreigd door diverse aspecten van mondiale verandering, waarbij de effecten van klimaatsveranderingen voornamelijk indirect zijn en andere effecten versterken. Verlies van biodiversiteit kan een versterkend effect op klimaatverandering hebben, via een verlies van buffercapaciteit en minder efficiënte koolstofopname van ecosystemen. Een erg belangrijke interactie is die waar de waarschijnlijkheid van grootschalige branden en toegenomen droogtes samengaan. Het is een prioriteit deze branden tegen te gaan.

De genetische-, soorts-, en ecologische diversiteit in de meeste biomen op aarde staat onder druk van vrijwel alle aspecten van mondiale verandering. De meest directe oorzaken van verlies van biodiversiteit zijn (Sala et al., 1999):

- Fragmentatie van ecosystemen, waardoor de minimumarealen van vele soorten verdwijnen en populaties geïsoleerd raken.
- Verstoring, door de mens of extreme natuurverschijnselen, waardoor gehele ecosystemen uiteen kunnen vallen.
- Invasie door exotische soorten

Klimaatverandering kan een grote rol spelen in al deze drie oorzaken.

- Een grotere frequentie en hevigheid van branden, bijvoorbeeld in de Amazone of boreale bossen, veroorzaakt door verhevigde interjaarlijkse variabiliteit van seizoenen, kan leiden tot fragmentatie van bosgebieden en directe verstoring van brandgevoelige soorten.
- Een te verwachten verschuiving van klimaatzones ten gevolge van opwarming kan leiden tot een onevenwichtige migratie van soorten, alsmede van ziekten en plagen.
- Verhoogde opwarming, stikstofdepositie en 'CO₂-bemesting' zullen alle leiden tot veranderde concurrentieverhoudingen in ecosystemen waardoor over het algemeen een soortenarmere, sneller groeiende gemeenschappen zullen worden bevorderd.

De effecten van verlies van biodiversiteit op het functioneren van ecosystemen zijn nog grotendeels onbegrepen. Het is duidelijk dat verlies van genetische diversiteit een groot risico inhoudt voor de toekomst van de voedselproductie. Het is aannemelijk dat een reductie in soorten- of ecologische diversiteit een ecosysteem gevoeliger maakt voor verstoringen, veranderingen in het klimaat en verschuiving van concurrentie-verhoudingen. Echter, dit is onderwerp van intensief onderzoek en debat, en er zijn vele voorbeelden die het tegendeel laten zien: dat soortenarmere ecosystemen 'robuuster' zijn. Dit betekent wel dat relatief kleine verschuivingen in diversiteit een zelfversterkend effect kunnen hebben via versterkte klimaatverandering en brandgevoeligheid, leidend tot minder soortenrijke maar meer 'robuuste' ecosystemen.

Onderzoek in het Amazonegebied door Nepstad et al (1999), heeft aangetoond dat 'verborgen' branden (niet zichtbaar voor satellieten) in de ondergroei van het regenwoud een minstens zo groot oppervlak bestrijken als de zichtbare branden. Een toename van dit fenomeen wordt geassocieerd met de recente intensieve El-Niño episode. Een dergelijke verstoring houdt een sluipend verlies in van biodiversiteit maar leidt ook tot verhoogde gevoeligheid voor meer brand en impliceert tegelijkertijd een grotere emissie van CO₂ naar de atmosfeer.

Er zijn diverse studies geweest waarin kunstmatig samengestelde ecosystemen in een gecontroleerde omgeving werden onderzocht. De conclusies waren over het algemeen dat de soortenrijkere systemen een efficiëntere nutriëntenopname lieten zien en een actiever bodemleven, hetgeen leidde tot minder uitspoeling en een snellere koolstofomzetting (Tilman et al., 1996; Chapin et al., 1997). Echter, er is veel discussie over de validiteit van dergelijke onderzoeken, onder andere omdat soortenrijkere systemen over het algemeen een hogere biomassa hebben (Huston, 1997). Vergelijkbare studies zijn verricht voor de koolstofopname van (model-)ecosystemen, en wederom werd aangetoond dat in soortenrijkere systemen de waarschijnlijkheid van soorten met een grote opnamecapaciteit hoger is, waardoor zulke ecosystemen zich na verloop van tijd ontwikkelen tot de sterkst koolstofopnemende.

De belangrijkste maatregelen om afname van biodiversiteit tegen te gaan zijn:

- Bescherming tegen branden waar dat relevant is
- Tegengaan van verhoogde stikstofdepositie
- Het waarborgen van verbindingzones en corridors in gefragmenteerde landschappen
- Tegengaan van de algemene oorzaken van klimaatverandering
- Bevorderen van onderzoek naar de relaties tussen biodiversiteit en functioneren van ecosystemen.

5 Omgaan met onzekerheden

In de introductie van het onderwerp klimaatverandering als relevant beleidsthema voor het landelijk gebied heeft de Raad voor het Landelijk Gebied (RLG, 1998) reeds geconstateerd dat er ten aanzien van de prognoses rond klimaatverandering en daarmee samenhangende effecten, met inbegrip van zeespiegelrijzing, sprake is van grote onzekerheden. De belangrijkste onzekerheden zijn onder andere door RLG (1998) geïnventariseerd en hebben betrekking op:

1. Beperkte voorspelbaarheid van het toekomstig gedrag van het klimaatsysteem

Het klimaat is de resultante van een complexe en dynamische werking tussen tenminste een vijftal van niet-lineaire systemen: de atmosfeer, de oceanen, de ijsmassa's, de biosfeer en de maatschappelijke systemen, die alle de vier voorgenoemde systemen kunnen beïnvloeden. Dergelijke niet-lineaire systemen worden gekenmerkt door het verschijnsel dat kleine impulsen in systeemdetails grote veranderingen in het totale systeem teweeg kunnen brengen. Dit "chaotisch" gedrag maakt het klimaat per definitie maar beperkt voorspelbaar.

2. Kennis over het functioneren van de individuele sub-systemen van het klimaatsysteem en de wisselwerking tussen de sub-systemen

Een grote deel van nodige kennis over het "grootschalig" functioneren van bijvoorbeeld de oceansystemen en van de terrestrische biosfeer ontbreekt nog steeds. Belangrijke terugkoppelingsmechanismen zijn ook onbekend of moeten zodanig worden vereenvoudigd om ze te kunnen modelleren dat de betrouwbaarheid van de modelvoorspellingen hierdoor in het geding kan komen.

3. Vereenvoudigingen in de (klimaat)modellen

De huidige klimaatmodellen, waarop bijvoorbeeld de IPCC haar prognoses baseert, berusten nog steeds op een sterk vereenvoudigde werkelijkheid met betrekking op de werking van het klimaatsysteem. Veel van de belangrijke processen en terugkoppelings-mechanismen worden vanwege het ontbreken van de gegevens of door de complexiteit van de onderliggende theorieën simpelweg niet meegenomen. Toch zijn deze modellen in de staat gebleken om voor enkele klimaatparameters in statistische zin geloofwaardige veranderingen te berekenen, zij het slechts op de schaal van grote continenten.

Ondanks deze onzekerheden zijn er voldoende argumenten aanwezig voor zowel de wetenschappers als de politici om de voorspellingen van de klimaatmodellen serieus te nemen (IPCC 1996; Kamer Onderzoek klimaatverandering, 1996). Vaak wordt er benadrukt dat de modeluitkomsten op zeer betrouwbare wijze inzicht verschaffen in de gevoeligheid van het klimaatsysteem voor verstoringen. Verder geldt *de projectie van een mondiale temperatuurstijging gedurende komende decennia als vrijwel zeker. Daartegenover staat dat de uitkomsten van de klimaatmodellen op de regionale schaal met grote onzekerheden bleven omgeven, zelfs als het gaat over de komende decennia.*

De Raad van het Landelijk Gebied (RLG, 1998) concludeert in haar advies aan LNV ten aanzien van het omgaan met onzekerheden over de relatie tussen de klimaatproblematiek en het landelijk gebied het volgende:

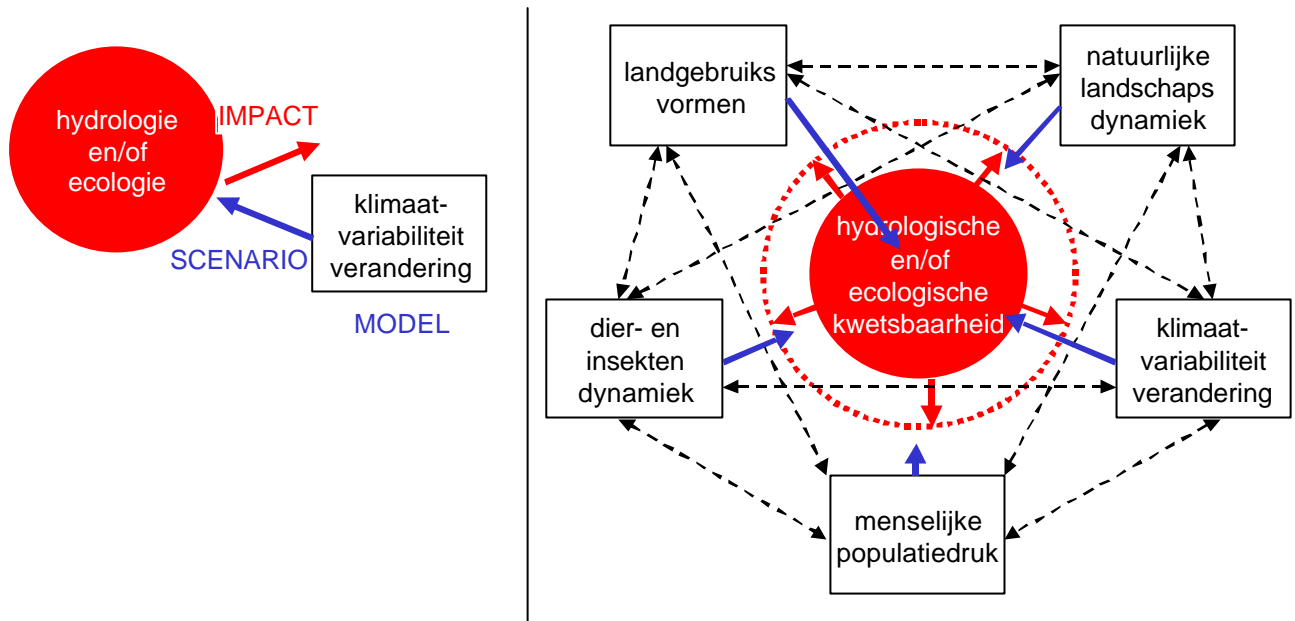
1. Een brede erkenning van de klimaatproblematiek en de waarschijnlijke gevolgen hiervan is een *conditio-sine-qua-non* om te komen tot een adequaat en tijdig beleid voor de aanpassing van inrichting, beheer en gebruik van het landelijk gebied.
2. Volgen van "geen spijt" beleid op het binnenlandse niveau. De bepleite strategie van het waar mogelijk verwerken van bestaande inzichten en gaandeweg reduceren van nog bestaande onzekerheden en leemten in de kennis, geeft in zijn doorwerking naar het beleid aanleiding tot een tweesporen- benadering. Enerzijds dient het beleid gericht te zijn op het waar mogelijk anticiperen op de verwachte ontwikkelingen, anderzijds op het open houden van opties voor de toekomst.
3. Volgen van "geen spijt" beleid Europees en mondiaal.

Bij het waarde toekennen aan de effecten ten gevolge van klimaatverandering voor het landelijk gebied dient gewerkt te worden met de technieken and methoden die zo goed mogelijk inzicht in de mate van onzekerheid kunnen verschaffen. De klassieke, een-dimensionale "als - dan" benadering, waarbij men de (onzekere) klimaatscenario's gebruikt om de gevolgen voor verschillende functies van het landelijk gebied uit te rekenen, voldoet niet meer aan deze eis. De gevolgen van klimaatverandering op het landelijk gebied moeten ook in een brede context van het maatschappelijke spectrum kunnen worden geëvalueerd- en ook hier schieten de meeste klimaateffectenstudies op dit moment duidelijk tekort.

Analyse van de kwetsbaarheid van het landelijk gebied voor klimaatverandering in relatie tot andere verstoringen

Deze nieuwe benadering (Pielke et al., 1999) vereist een beschrijving van de bestaande draagkracht en de bestaande middelen, natuurlijke en maatschappelijke, die beschikbaar zijn om veranderingen op te vangen. De kwetsbaarheid van een systeem voor klimaatverandering is sterk gekoppeld aan de stabiliteit en de veerkracht van een bepaalde functie van het landelijk gebied.

In de klassieke benadering (links in figuur 7) worden deelcomponenten van het aardsysteem, bijv. klimaat, geïsoleerd beschouwd: met een model van bijv. het klimaat worden scenario's opgesteld die vervolgens worden gebruikt om de reactie van een ander deelsysteem, bijv. hydrologie, te analyseren. Terugkoppeling is hierbij niet mogelijk, laat staan naar andere dan de beschouwde systemen. Echter, de voorspelbaarheid van meerdere onderling gekoppelde deelsystemen (rechts in figuur 7) is zeer beperkt door de vele niet-lineaire en/of slecht begrepen onderlinge interacties, en scenario's zijn (nog) niet op te stellen. Een alternatieve benadering is nodig. Hierbij wordt eerst de maatschappelijk nog net acceptabele reactie van een te bestuderen deelsysteem vastgesteld (gestippelde cirkel). Vervolgens wordt het systeem aan een zo volledig mogelijke reeks externe en interne verstoringen blootgesteld. Tot slot wordt met het volledig gekoppelde systeem de waarschijnlijkheid van optreden bepaald, van die verstoring die het meest kritisch is t.a.v. de gestelde grenswaarde.



Figuur 7. Klassieke en alternatieve voor global change impact studies (zie tekst voor uitleg).

6. Discussie, kansen & bedreigingen

6.1 Inleiding

Deze quickscan richt zich op de verwachte effecten van klimaatverandering op de diverse functies van het landelijk gebied. De quickscan bespreekt ook de verbanden tussen de functies van het landelijk gebied, landgebruik en de werking van het klimaatsysteem en klimaatverandering. In de discussie worden de risico's en de kansen besproken: wat zijn de risico's op korte- en lange termijn, wat zijn de kansen en bedreigingen voor het landelijk gebied en voor de LNV sectoren in verband met de specifieke effecten van de klimaatverandering? Zijn er nieuwe opties om op basis van de bestaande kennis de toekomstige maatregelen i.v.m. (her)inrichting van het landelijk gebied beter te focussen op het klimaatvraagstuk? Waar ontstaan de nieuwe kansen? Maar ook: waar ontbreken op dit moment zowel de kennis als de gegevens om adequate maatregelen in het landelijk gebied te kunnen ontwikkelen? Wat kunnen in dit verband de belangrijkste vragen en eisen worden aan de toekomstig klimaatonderzoek?

In het eerste deel worden sectorale kansen, bedreigen en dilemma's gegeven voor het landelijk gebied *in Nederland en Europa*, en hoe het LNV beleid daarop in zou kunnen springen. In het tweede deel worden sectorale kansen, bedreigen en dilemma's gegeven voor het landelijk gebied *buiten Nederland/Europa*, en hoe het LNV beleid daarop in zou kunnen springen. Tot slot volgen enige opmerkingen over het omgaan met onzekerheden en de rol van het toekomstig onderzoek.

Klimaat in Nederland in 2050

- Het KNMI vindt een temperatuurstijging van 0.5-2 °C en een neerslagtoename van 3% tot 2050.
- De lengte van het groeiseizoen zal toenemen.
- Winters zullen gemiddeld natter en minder streng zijn, zomers droger.
- De neerslag neemt met 3 % toe t.o.v. het jaar 1990 (6% rond het jaar 2100)
- De winterneerslag neemt met 6 % toe (12 % rond 2100)
- De extreme winterneerslag wordt geschat op 10 % (20 % rond 2100)
- De zomer neerslag neemt toe met 1 % toenemen (2 % rond 2100), maar valt meer in de vorm van lokale en zware buien (10 tot 20 % hogere intensiteit)
- Toename van de neerslag in de winter leidt tot hogere gebiedsafvoer en mogelijk hogere wateroverlast als gevolg van hogere neerslaghoeveelheden.
- Extremen in temperatuur en neerslag nemen mogelijk toe in frequentie.
- De kans op stormen en de intensiteit van stormen neemt toe.
- De zeespiegelrijzing wordt lokaal versterkt door het gelijktijdige optreden van bodemdaling: 25 cm in 2050 en 60 cm in 2100.

Landelijk gebied en het klimaatsysteem

Het landelijk gebied met haar functies is een belangrijk onderdeel van het klimaatsysteem. Veranderingen in het landgebruik, zoals grootschalige ontbossing, kunnen leiden tot klimaatveranderingen die van vergelijkbare orde zijn als die ten gevolge van de industriële emissies van broeikasgassen. Daarnaast speelt de landbiosfeer een belangrijke rol in de globale koolstofbalans: de hoeveelheid koolstof uitgewisseld tussen de landbiosfeer en de atmosfeer bedraagt wereldwijd jaarlijks ongeveer 120 Gigaton, terwijl de globale emissie van de CO₂ circa 6 Gigaton is. Een relatief kleine (5 %) verstoring van de landbiosfeer kan dus een CO₂-emissie tot gevolg hebben, die gelijk is aan de mondiale industriële emissies.

Door haar "dubbele" functie in het klimaatsysteem is het landelijk gebied geen eenzijdige slachtoffer van klimaatverandering. Veranderingen in de functies van het landelijk gebied kunnen klimaatverandering sterk in de hand werken, en de effecten daarvan versterken.

Aan de andere kant, gerichte maatregelen in het landelijk gebied kunnen worden ingezet om de effecten van de klimaatverandering te temporiseren of zelfs tegen te gaan. Gerichte maatregelen in het landelijk gebied worden hierdoor een instrument van het klimaatbeleid.

Dilemma's daarbij zijn:

- Prioritering van de (her)inrichtingsmaatregelen in het landelijk gebied als een instrument van het klimaatbeleid
- Grootschalig inzetten van het landbiosfeer als de koolstof- sink?
- JI en CDM beleid voornamelijk richten op de maatregelen in het landelijk en ruraal gebied?
- Is het rendement van investeringen in het landelijk gebied t.b.v. het klimaatbeleid vergelijkbaar met andere maatregelen?

6.2 Sectorale kansen, bedreigingen en dilemma's in nederland en europa

6.2.1 NATUUR, BOS EN BOSBOUW IN NEDERLAND IN EUROPA

De Nederlandse en Europese natuur is in een duizenden jaren lange periode, steeds verder gedegradeerd. Daaroverheen komt nu de dreiging van klimaatverandering. Het beleid en beheer moet er op gericht zijn een zo vitaal mogelijke natuur te creëren zodat deze de gevolgen van klimaatverandering beter kan opvangen.

Bedreigingen

De natuur staat reeds onder een grote druk en de klimaatverandering wordt algemeen gezien als additionele stress factor. Tot de meest bedreigde natuurtypen in Nederland en Europa behoren de bossen, het Waddenzee-ecosysteem en de fauna van beken en van de stroomgebieden van (grote) rivieren. Vaak worden de negatieve effecten indirect: bij bossen nemen bv de frequentie van bosbranden, windworp door de stormen en de schade door de insectenplagen toe.

Ondanks de bedreiging die klimaatverandering vormt voor de natuur in Nederland biedt het ook enorme kansen voor versterking van het LNV beleid.

Kansen

Veel van het LNV beleid op het gebied van bos en natuur is gericht op herstel van de kwaliteit en omvang van de natuur. Klimaatverandering en het daaruit voortvloeiende Kyoto Protocol bieden uitstekende kansen voor versterking van dit beleid.

Kansen & uitdagingen voor het toekomstig natuur- en bosbeleid in relatie tot klimaatverandering:

- het versneld tot stand brengen van verbindingen tussen natuurgebieden en het revitaliseren van de natuur,
- het zo lang mogelijk vasthouden van gebiedseigen regenwater,
- het stimuleren van de ontwikkeling van bosbeheer richting gemengde bossen met een zo groot mogelijke genetische en ecologische variatie waardoor altijd één of meerdere (boom)soorten kunnen inspringen op veranderende omstandigheden,
- het stimuleren van bosbeheer waarin geëxperimenteerd wordt met zuidelijkere soorten of herkomst,
- het stimuleren van onderzoek naar de effecten van klimaatverandering op diverse ecosystemen in Nederland, en vooral het totale complexe ecosysteem incl. schimmels, insecten, vogels, zoogdieren en planten,
- het stimuleren van onderzoek naar beheersvormen die de negatieve effecten van klimaatverandering zoveel mogelijk tegengaan.

De emissie-reductiedoelstelling die in Kyoto is afgesproken kan namelijk ook grotendeels bereikt worden via maatregelen in (Europese) bossen, en mogelijk ook in landbouwbodems en natuurgraslanden. Schattingen van bos-investeringen t.g.v. Kyoto lopen uiteen van 2 tot 40 miljard dollar wereldwijd! Ter vergelijking: op dit moment wordt er ongeveer 1 miljard dollar per jaar geïnvesteerd in bosuitbreiding en bosherstel wereldwijd. Ook in de meest 'pessimistische' schattingen dus nog altijd een verdubbeling!

Hier liggen enorme mogelijkheden voor versterking van het Nederlandse LNV beleid op het gebied van herstel van de kwaliteit van de natuur (Wadden, beken, heide, veengebieden, moerassen), verhoging van het aandeel binnenlands hout, verhoging van het gebruik van duurzaam geproduceerd hout, een meer natuurlijk bosbeheer met gemengde bossen, en totstandkoming van de EHS. Allemaal bestaand beleid dat past binnen maatregelen die vooruitlopen op de gevolgen van klimaatverandering.

Daarnaast heeft het reduceren en vermijden van emissies en het vastleggen van koolstof een intrinsieke geldwaarde. Daarom is het ontwikkelen en stimuleren van adequaat beheer van bossen en van bodem een aantrekkelijke optie binnen natuurbeleid in het licht van de reductieverplichtingen van het Kyoto protocol. Dit biedt mogelijkheden voor het uit productie nemen van voormalige landbouwgronden ten behoeve van bos- en natuurontwikkeling, en bio-energie plantages.

Ook kunnen mogelijkheden voor het inpassen andere functies (bijv. bos voor water retentie, tegengaan droogtestress) in bos en overige ecosystemen worden onderzocht.

Dilemma

Hoe voorkomen we mogelijke averechtse effecten van het meerekenen van bossen als koolstofsinks op de emissiereductie inspanningen? Creëren van een ontsnappingsroute of een win-win situatie ?

6.2.2 LANDBOUWPRODUCTIE IN NEDERLAND EN EUROPA

Bedreigingen

De risico's van plagen worden groter. Vooral veranderingen van de temperatuur in het winterseizoen hebben grote gevolgen voor het overleven van insecten. Een verhoogde temperatuur versnelt de ontwikkeling van insecten en zij zijn sneller vruchtbaar. Ook de bestrijding van schimmels zal meer aandacht vragen vanwege de hogere temperaturen en langere periodes waarin bladeren vochtig zijn. Het is tevens te verwachten dat pathogenen uit mediterrane gebieden in Nederland zullen binnendringen.

Het feit dat de Nederlandse landbouwsector naast het productieareaal in eigen land een zevenvoudige oppervlakte in het buitenland "in gebruik" heeft (IUCN, 1994), maakt de sector extra kwetsbaar voor de gevolgen van mondiale klimaatverandering, met name in de tropen. Dit betreft met name de veehouderij, die voor zijn veevoerproductie beslag legt op ruim 6 miljoen hectaren elders, waarvan 2 miljoen hectare in de (sub)tropen.

De agrarische ondernemer zal naar verwachting inspelen op veranderingen in klimaat. Hij zal zijn gewas keuze aanpassen en gebruik maken van nieuwe rassen om optimaal te profiteren van de gewijzigde omstandigheden. Daarnaast zullen er directe veranderingen in de teelt nodig zijn.

Kansen

Als het klimaat volgens de huidige inzichten veranderd, lijkt per saldo de toekomstige situatie voor de voedselvoorziening in Nederland gunstig. Er zijn weinig of geen aanwijzingen dat de landbouw in Nederland er bij de klimaatverandering op achteruit zal gaan, behoudens de

situaties waarbij abrupte (niet-lineaire) klimaatveranderingen zouden gaan optreden. *Het totale welvaartseconomische effect van klimaatsverandering is positief.*

Gevolgen van klimaatverandering voor de (sub)tropische landbouw zullen ook gevolgen hebben voor de aanbod van exotische etenswaren op de Nederlandse en West-Europese markt. Dit kan leiden tot aangepaste consumptiepatronen en daarmee *nieuwe perspectieven voor Nederlandse en Europese landbouwproducten en voedingsmiddelen* (RLG, 1998).

Het "boeren voor koolstof" biedt nieuwe mogelijkheden. Enerzijds door productie van energiegewassen, anderzijds door de productie methoden van conventionele gewassen mede te optimaliseren met betrekking tot koolstofvastlegging in de bodem

Koolstofopslag in de bodem van graslanden

Met betrekking tot de hoeveelheid koolstof die in een humusrijke bodem aanwezig is (320 ton per ha) resulteert de CO₂ verdubbeling in een toename van de organische stof in graslanden met 0.5-2% per jaar, ofwel tussen 1,6 en 6 ton koolstof per hectare per jaar. Dit getal is vergelijkbaar met de allernieuwste schattingen van de koolstofvastlegging door zowel Europese als tropische bossen onder huidige atmosferische CO₂-concentratie. (Schapendonk et al. 1997)

Door de verwachte afname van het landbouwareaal zal er in de toekomst meer grond beschikbaar komen voor de teelt van energiegewassen. De fysieke opbrengst van de energiegewassen zal met de klimaatverandering toenemen - een effect dat vergelijkbaar is met dat op belangrijke landbouwgewassen. Op dit moment bestaan er nauwelijks experimentele en/of model gegevens over de te verwachten productietoename van de belangrijkste energiegewassen als het klimaat verandert.

Voorlopig kan men uitgaan van een voorzichtige schatting van minimaal 20 % productietoename bij de verdubbeling van de atmosferische CO₂-concentratie. De hoeveelheid land die in de EU voor energiegewassen beschikbaar is wordt geschat op maximaal 15-21 miljoen hectare. Bij intensief gebruik kan daarmee 8 % - 10 % van het huidige energiegebruik in Europa worden gedekt, en dit percentage kan door de productie verhoging verder gaan toenemen. De productie van energiegewassen kan op dit moment niet zonder subsidie. Schattingen van het CLM, gebaseerd op de meest rendabele techniek vereisen een subsidie van 500 ECU per ha op jaarbasis.

Dilemma's

De belangrijkste nadelen van energiegewassen zijn het grote beslag dat wordt gelegd op het land- en watergebruik, de bodem- en luchtverontreiniging als gevolg van bemesting en pesticiden, en de verbranding van biomassa waarbij toxische verbindingen worden gevormd. De energie opbrengst per ha ligt tussen 67 and 611 GJ/ha/jaar. Dat is een factor 7 tot 70 lager dan die gerealiseerd wordt met foto-voltaïsche technieken en met windenergie waarbij opgemerkt moet worden dat de kostprijs van deze technieken vele malen hoger is dan de kostprijs van biomassa productie.

In de nabije toekomst en onder de invloed van de klimaatverandering is te verwachten dat watergebruik een productie aspect wordt dat mede bepalend wordt voor de haalbaarheid van de teelt van energiegewassen.

6.2.3 AQUATISCHE BIOMASSA EN VISSERIJ

Bedreiging

Visserij is een sector die op globale schaal reeds grote problemen kent: massieve overbevissing in een aantal regio's, conflicten tussen de visserij vloot en andere gebruikers van de aquatische ecosystemen, het verdwijnen van wetlands, het aantasten van de natuurlijke kweekgebieden

door vervuiling van de kustzones en de effecten van toenemende UV-B straling als gevolg van de ozongat.

De effecten van klimaatverandering zullen de reeds bestaande druk op de wereldvisserij op bijna alle gebieden doen toenemen. Als de klimaatverandering volgens de IPCC projecties doorzet, zal deze waarschijnlijk veel grotere effect hebben op de visserij sector dan huidige overbevissing (IPCC, 1995).

"Global warming" zal sommige takken van de visserij doen verdwijnen en andere juist sterk stimuleren.

Kansen

Mariene ecosystemen in de Noordzee zijn niet constant van samenstellingen of biomassa maar vertonen grote jaarlijkse en meer- jaarlijkse variatie, waarvoor de klimaatvariaties in combinatie met meerdere oorzaken verantwoordelijk zijn. De klimaatverandering op de tijdschaal van komende 50 tot 100 jaar zal deze variaties doen toenemen. Op dit moment ontbreekt het aan zowel de gegevens als proceskennis om de gevolgen voor de Nederlandse visserijsector te kwantificeren. Echter, zoals voorgesteld in de recente NRLO rapport (1998), er zijn veel gerichte maatregelen in de Nederlandse visserijsector mogelijk om de gevolgen van deze natuurlijke variatie op te vangen, *en hierdoor gelijk beter te anticiperen op de mogelijke gevolgen van klimaatverandering.*

6.2.4 RECREATIE EN TOERISME

Bedreigingen

Door de toegenomen aantal zonnenuren, en in combinatie met het dunner worden van de ozonlaag, neemt de *risico van de blootstelling aan de zeer schadelijke UV-B straling aanzienlijk toe*. Deze risico wordt groter naarmate het zomer- en recreatie seizoen langer wordt. UV-B straling kan bij de mensen huidkanker veroorzaken en de immunologische systeem aantasten. De volksgezondheid kan hierdoor ernstig in het geding komen

Het langere en betere (warmer/droger) recreatieseizoen en de toenemende vrije tijd in Nederland en omringende landen (Duitsland) zal leiden tot een zeer expansieve groei in de recreatiesector. Echter, transport, logistiek en infrastructuur zullen deze ontwikkelingen naar verwachtingen niet kunnen bijbenen, deels omdat ruimte de beperkende factor blijft. Hierdoor *dreigt Nederland gedurende komende decennia tijdens de recreatiepieken regelmatig "dicht te slibben"*. Dit zal een negatieve weerslag hebben op de recreatie –en toeristische sector zelf.

Kansen

Per saldo lijkt de recreatiesector in Nederland veel baat te kunnen hebben bij klimaatverandering. Als de nodige aanpassingsmaatregelen in het landelijk gebied efficiënt en tijdig worden geïmplementeerd, *kan de sector zelfs een versnelde groei laten zien*.

Dilemma's

Wat is het duurzame niveau van ontwikkeling in deze sector in Nederland in relatie tot klimaatverandering en tot andere maatschappelijke veranderingen? In anticipatie op de verwachte effecten van de klimaatverandering: moet de sector ongeremd worden gestimuleerd, of moeten we juist bij voorbaat de grenzen aan de verwachte groei gaan stellen?

6.3 Sectorale kansen, bedreigingen en dilemma's met betrekking tot global change effecten buiten Nederland

Klimaatverandering is een *mondiaal probleem* dat zich overal ter wereld manifesteert, zij het in elke regio op verschillende wijze. Het is aannemelijk dat vele gebieden vooral op het zuidelijk halfrond, aanzienlijk kwetsbaarder blijken voor klimaatverandering dan het economisch hoog ontwikkelde Nederland en West Europa.

Klimaatverandering kan in die gebieden vele gevolgen hebben, zoals de afname van bodemvruchtbaarheid, verdroging, problemen met de voedselproductie en verlies van de natuurwaarden. *Het grootste deel van deze problemen gaan zich afspelen in het landelijk (ruraal) gebied.* Aan Nederland zullen deze gevolgen niet voorbij gaan. Echter, er liggen ook grote *kansen* voor de implementatie van het Nederlandse klimaatbeleid via JI en CDM maatregelen. De Noord- Zuid aspecten van het klimaatprobleem verdienen daarom speciale aandacht.

6.3.1 DUURZAME VOEDSELPRODUCTIE EN VOEDSELVOORZIENING

De effecten van klimaatverandering op de mondiale voedselvoorziening kunnen relatief beperkt blijven als de klimaatverandering volgens huidige inzichten en verwachtingen doorzet en als de wereld voedselvraag op huidige niveau blijft. Echter, de verwachte groei van de wereldbevolking in combinatie met klimaatverandering, waarbij ook de ziekten, plagen en onkruid gaan toenemen, zullen naar verwachting zeer ingrijpende gevolgen hebben voor mondiale voedselbeschikbaarheid. In combinatie met mogelijke niet-lineaire klimaatveranderingen en het optreden van de klimaatextremen kunnen de gevolgen in sommige regio's desastreuze vormen aannemen.

Bedreiging

De grootste problemen zouden ontstaan in de ontwikkelingslanden Zonder enige adaptatie maatregelen zal de GDP vanuit landbouw in deze landen met 20 % kunnen dalen. Zelfs met de vergaande adaptatie maatregelen in de periode tot 2060 (Adaptatie niveau 2), wat voor de derde wereld een zeer onwaarschijnlijke scenario lijkt, kan de landbouw aandeel aan de GDP met bijna 10 % gaan dalen. De wereldmarktprijzen van alle landbouwgewassen zullen naar verwachting rond het jaar 2060 met enige tientallen procenten gaan stijgen.

Kansen

Dit kan opgevangen worden door een intensivering van de voedselproductie elders (oa in Nederland), en door een indirecte intensivering door specialisatie voor een externe markt.

Verhoging van de productie kan bereikt worden door de inputs te optimaliseren of via uitbreiding van het productie areaal. Dit kan via bemesting, irrigatie, bestrijding ziekten en plagen, mechanisatie maar ook via de introductie van nieuwe voedselgewassen of gewas combinaties die beter aangepast zijn aan de gewijzigde groeiomstandigheden.

Het succes van indirecte intensivering hangt sterk af van de te verwachten netto winst die te behalen is. In hoeverre de voorgestane globale handelsliberalisatie dit proces beïnvloed is nog onduidelijk. Producten die deze niche in het recent verleden hebben gevuld zijn bv. katoen, banaan, koffie, soja, pinda maar ook houtskool en vlees. In hoeverre hier als gevolg van klimaatverandering wijzigingen in zullen optreden zal sterk door economische krachten bepaald worden.

Voor de productie - intensiveringinspanningen kan veel hoogwaardige Nederlandse landbouwkennis worden ingezet, om hoogproductieve en duurzame landbouwproductiesystemen te ontwerpen.

Dilemma

Moet het beleid gericht worden op de economisch belangrijke landbouwsectoren of op de agro- ecologisch en sociaal-economisch kwetsbare sectoren en actoren tegelijk?

6.3.2 TROPISCHE BOSSEN

Hier ligt de relatie met de Regeringsstandpunt Tropisch Regenwoud, waarbij de LNV de voortrekkersrol vervult

Bedreiging

Tropische bossen vormen een uiterst belangrijke en krachtige regulator van regionaal en waarschijnlijk zelfs mondiaal klimaat en waterhuishouding, en een enorme bron van biodiversiteit. Tropische ontbossing is een van de belangrijkste terrestrische emissiebronnen van CO₂. Tegelijkertijd is deze functionaliteit uiterst kwetsbaar, door directe menselijke bedreigingen (ontbossing), maar ook door klimaatsveranderingen. Dit terwijl, zolang deze functionaliteit blijft bestaan, tropische regenwouden juist een grote bijdrage zouden kunnen leveren aan het voorkomen van die klimaatsveranderingen.

Klimaatverandering zal verder een grote invloed hebben op de mogelijkheden en onmogelijkheden van het duurzaam landgebruik in de tropen.

Kansen

Het is de laatste jaren meer en meer duidelijk geworden dat met name het Amazonegebied een grote sink vertegenwoordigt voor atmosferisch CO₂, waardoor deze bossen een bufferende werking hebben op de oorzaken van het broeikaseffect. Volgens huidige inzichten kan deze sinkgrootte variëren tussen 1 en 5 ton koolstof per hectare per jaar. Hierdoor *zijn de tropische bossen een belangrijke kanshebber geworden in het kader van de post- Kyoto Flexibele Mechanismen (JI).*

Inzetten op het behoud en duurzaam beheer van tropisch regenwoud in het kader van het klimaatbeleid is een typische win-win scenario: naast het tegengegaan van de emissie en het bevorderen van de koolstofsinkfunctie wordt o.a. biodiversiteit beschermt en de duurzame, alternatieve houtproductiemethodes gestimuleerd

6.3.3 BIODIVERSITEIT

Hier ligt de relatie met de Biodiversiteitsverdrag waarbij LNV een belangrijke rol vervult

Bedreigingen

- Biologische diversiteit wordt bedreigd door diverse aspecten van mondiale verandering, waarbij de effecten van klimaatsveranderingen voornamelijk indirect zijn en andere effecten versterken.
- Verlies van biodiversiteit kan een versterkend effect op klimaatverandering hebben, via een verlies van buffercapaciteit en minder efficiënte koolstofopname van ecosystemen.
- Een erg belangrijke interactie is die waar de waarschijnlijkheid van grootschalige branden en toegenomen droogtes samengaan. Het is een prioriteit deze branden tegen te gaan.

Kansen

Kansen liggen in het tijdig nemen van maatregelen, en in synergie met maatregelen in andere sectoren (zie win-win situatie t.a.v. koolstofvastleggingen) :

- Bescherming tegen branden
- Tegengaan van verhoogde stikstofdepositie

- Het waarborgen van verbindingzones en corridors in gefragmenteerde landschappen
- Bevorderen van het integraal onderzoek naar de relaties tussen biodiversiteit, klimaat en functioneren van ecosystemen.

6.4 Omgaan met onzekerheden en de rol van het toekomstig onderzoek

De Raad van het Landelijk Gebied (RLG, 1998) concludeert in haar advies aan LNV ten aanzien van het omgaan met onzekerheden in de relatie tussen klimaatproblematiek en landelijk gebied het volgende:

1. Een *brede erkenning van de klimaatproblematiek en de waarschijnlijke gevolgen hiervan* is een conditio-sine-qua-non om te komen tot een adequaat en tijdig beleid voor de aanpassing van inrichting, beheer en gebruik van het landelijk gebied.
2. Volgen van een "geen spijt" beleid op het binnenlandse niveau. De bepleitte strategie van het waar mogelijk verwerken van bestaande inzichten en gaandeweg reduceren van nog bestaande onzekerheden en leemten in de kennis, geeft in zijn doorwerking naar het beleid aanleiding tot een tweesporen- benadering. *Enerzijds, dient het beleid gericht te zijn op het waar mogelijk anticiperen op de verwachte ontwikkelingen, anderzijds op het open houden van opties voor de toekomst.*
3. Volgen van "geen spijt" beleid op Europees en mondiaal niveau.

Naast te de nemen maatregelen blijft er grote behoefte bestaan aan verdere ontwikkelingen van de kennis op het gebied van de relaties tussen de klimaatverandering en het functioneren van het landelijk gebied.

Bij het waarde toekennen aan de effecten ten gevolge van klimaatverandering voor het landelijk gebied dient gewerkt te worden met technieken en methoden die zo goed mogelijk inzicht in de mate van onzekerheid kunnen verschaffen. De klassieke, één- dimensionale "als - dan" benadering, waarbij men (onzekere) klimaatscenario's gebruikt om de gevolgen voor verschillende functies van het landelijk gebied uit te rekenen, voldoet niet aan deze eis. De gevolgen van klimaatverandering op het landelijk gebied moeten ook in een brede context van het maatschappelijke spectrum kunnen worden geëvalueerd- en ook hier schieten de meeste klimaateffectenstudies op dit moment duidelijk tekort.

Aanbevelingen

1. Toekomstig onderzoek naar de effecten van het klimaat op het landelijk gebied zal vooral multidisciplinair en integraal van aard moeten zijn
2. In het kader van de klimaatproblematiek bestaat er een duidelijke synergie zowel tussen de individuele functies en de sectoren in het landelijk gebied, als betreffende de interacties tussen de effecten, maatregelen en de werking van het klimaatsysteem.
3. Er wordt gepleit voor integrale & anticiperende benadering van de klimaatproblematiek in het landelijk gebied: het waar mogelijk toevoegen van de "klimaatdimensie" aan alle relevante facetten van LNV- kennisbeleid en aan de beleidslijnen m.b.t. de (her)inrichting van het landelijk gebied en van de groene ruimte.

7. Geraadpleegde en geciteerde bronnen

- Annala, E., Petäistö, R.-L., 1978. Insect attack of windthrown trees after the December 1975 storm in Western Finland. Seloste: Hyönteisten lisääntyminen tuulen kaatamissa puissa Länsi-Suomessa vuoden 1975 joulukuun myrskyn jälkeen. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 94(2). 24 p.
- Bojinov, C., Alexandrov, A., Vassiliev, Z., Raffailov, G., Rossnev, B., Plougchieva, M., 1994. Forest and Forest Products Country Profile: Bulgaria. Geneva Timber and Forest Study Papers, No. 1. UN-ECE/FAO. Geneva, Switzerland. 57 p
- Brinkman, R. and Sombroek, W.G., 1996, 'The effects of global change on soil conditions in relation to plant growth and food production', In: F. Bazzaz and W.G. Sombroek (eds.): 'Global Climate Change and Agricultural Production', FAO, Wiley, New York, 49-63.
- Bullock, P., and Le Houérou, H. et al., 1996, 'Land Degradation and Desertification', In: R.T. Watson, M.C. Zinyowera and R.H. Moss (Eds.): 'Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses'. IPCC, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Chapin, F.S. III, Walker, B.H., Hobbs, R.J., Hooper, D.U., Lawton, J.H., Sala, O.E. and Tilman, D. (1997), 'Biotic controls over the functioning of ecosystems. Science, 277, 500-504.
- Dietz, A.J. en A. Verhagen. Climate change in the Sahel. Proceedings NOP symposium, october 1998.
- Dolman en van der Zande, 1999. Naar een broeikasneutrale landbouw en natuur in Nederland in 2100. Essay LNV Agenda Klimaat
- Forster, B., 1993. Entwicklung der Borkenkäfersituation in den Schweizer Sturmschadengebieten. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 1993 (144) 10, p. 767-776.
- Grace, J., Lloyd, J., McIntyre, J., Miranda, A.C., Meir, P., Miranda, H., Nobre, C., Moncrieff, J.M., Massheder, J., Malhi, Y., Wright, I.R. & Gash, J.: 1995, 'Carbon Dioxide Uptake by an Undisturbed Tropical Rain Forest in South-West Amazonia 1992-1993' Science 270, 778-780.
- Huston, M., 1997, 'Hidden treatments in ecosystem experiments: re-evaluating the ecosystem function of biodiversity. Oecologia, 110, 449-460.
- van Ierland et al., 1999 Socio-economische aspecten van klimaatverandering en de Nederlandse landbouw. Quickscan LNV Agenda Klimaat.
- Können et al., 1997. Meteorologie ten behoeve van de 'Vierde nota waterhuishouding'. KNMI Persoonlijk Memorandum, WKS97-01
- Malhi, Y., Nobre, A.D., Grace, J., Kruijt, B., Periera, M.G.P., Culf, A. and Scott, S.: 1998, 'Carbon Dioxide Transfer Over a Central Amazon Rain Forest'. J. Geophys. Res.. 103 (D24), 31,593-31,612.
- Moraal, L.G., 1995. Aantastingen door insecten en mijten in 1994 in bossen, natuurgebieden en wegbeplantingen. Nederlands Bosbouw tijdschrift 1995 (67) 3, p. 85-93.
- Nepstad, D.C., A. Verissimo, A. Alencar, et al. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. Nature 398:505-508.
- Notitie LNV-agenda Klimaat: stand van zaken
- Oosterbaan, A., Leffef, F., 1987. Conditievermindering en strefte van de zomereik (*Quercus robur* L.) in Nederland [The decline in health and death of *Quercus robur* L. in the Netherlands]. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 1987 (59) 6, p. 186-192.
- Paine, R.T., Tegner, M.J., Johnson, E.A., 1998. Compounded Perturbations Yield Ecological Surprises? In: Ecosystems, (1998) 1:535-545
- Parry, M.L., C. Rosenzweig, A. Iglesias and Lin Erdu, 1998. Agriculture. In: J. Feenstra et al. (eds.) Handbook on methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation strategies.
- Pfeffer, A., Skuhravy V., 1995. Der Buchdrucker *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae) und seine Problematik in der Tschechischen Republik. Anzeiger für Schädlingkunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz 1995 (68) 7, p. 151-152.
- Pielke et al., 1999. Land surface influences on atmospheric dynamics and precipitation. In Tenhunen en Kabat (eds), Integrating Hydrology, ecosystem dynamics and biogeochemistry in complex landscapes. Wiley&sons, Chichester, UK.

- Rau, H. 1995. Die Sturmschäden im Virngrund (Nordostwürttemberg) von 1870 bis 1990. Mitt. Forstl. Versuchsanstalt Baden-Württemberg 188. 173 p.
- Report on Forestry in the Slovak Republic 1998. Ministry of Agriculture, Food, Forestry and Water Management of the Slovak Republic. Bratislava.
- RLG, 1998. Overvloed en schaarste: water als geld. Advies over de gevolgen van klimaatverandering, zeespiegelrijzing en bodemdaling voor het landelijk gebied. Raad voor het Landelijk Gebied, Amersfoort, publicatie 98/5, 90 p.
- Sala, O.E., Chapin, F.S. III, Gardner, R.H., Lauenroth, W.K., Mooney, H.A. and Ramakrishnan, P.S., 1999, 'Global change, biodiversity and ecological complexity', In: B. Walker, W. Steffen, J. Canadell and J. Ingram (Eds.): 'The Terrestrial Biosphere and Global Climate', IGBP Book series, 4, Cambridge University Press, Cambridge.
- Schimitschek, E., 1950. Bericht über aufgetretene Forstschäden und deren Bekämpfung in Niederösterreich in den Jahren 1946 bis 1949. Landesforstinspektion für Niederösterreich, Wien. 158 p.
- Slodiák, M., 1995. Thinning regime in stands of Norway spruce subjected to snow and wind damage. In: Coutts, M.P., Grace, J. (eds), 1995. Wind and Trees. Cambridge University Press. 485 p.
- Sombroek, W.G., 1990, 'Soils on a warmer earth: the tropical regions', In: W.H. Scharpenseel, M. Schoemaker and A. Ayoub (Eds.): Soils on a Warmer Earth, Developments in Soil Science, 20, 157-174.
- Tilman, D., Wedin, D., and Knops, J., 1996, 'Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. Nature, 379, 718-720.
- UN-ECE/FAO, 1996. Forest fire statistics. United Nations Economic Commission for Europe (Geneva), Food and Agriculture Organization of the United Nations (Roma). 19 p.
- Virtanen, T., Neuvonen, S., Nikula, A., Varama, M., Niemelä, P. 1996. Climate change and the risks of Neodiprion sertifer outbreaks on Scots pine. In: Korpilahti et al 1996.
- Weslien, J., Schröter, H., 1996. Natürliche Dynamik des Borkenkäferbefalls nach Windwurf. AFZ Der Wald, Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge 1996 (51) 19, p. 1052-1055.
- Xue, Y. and J. Shukla, 1993. The influence of land surface properties on Sahel climate. J. Climate 4: 345-364

SOCIO-ECONOMISCHE ASPECTEN VAN KLIMAATVERANDERING EN LANDBOUW

Quickscan LNV Agenda Klimaat

E.C. van Ierland, C.J. Brink
P. Kabat, G.J. Nabuurs
F.M. Brouwer
C. Kroeze, J.C. Pluimers
L.H.G. Slangen

Milieu Economie, Wageningen Universiteit
Alterra
LEI-DLO
WIMEK, Wageningen Universiteit
Agrarische Economie en Beleid,
Wageningen Universiteit

1. INLEIDING	69
2. KYOTO EN DE NEDERLANDSE LANDBOUW	69
2.1. De Nederlandse land- en tuinbouw	70
2.2. Emissies van broeikasgassen en andere milieubelastende stoffen in de glastuinbouw	72
De glastuinbouw en de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid	72
3. REDUCTIEMOGELIJKHEDEN IN DE NEDERLANDSE LANDBOUW	73
3.1. Opties voor emissiereductie in de glastuinbouw	74
3.2. Veranderingen in landgebruik	75
3.3. Vernatting van de veengebieden	76
3.4. Conclusie	77
4. RELATIE MET AANVERWANTE BELEIDSTERREINEN	78
4.1. Energiebesparing	78
4.2. Het effect van ammoniak emissiereductie op broeikasgasemissies	79
4.3. Sociaal economische aspecten van bosbeheer en aanpassing aan klimaatverandering	81
Bosaanleg, C-vastlegging en Kyoto	82
4.4. Conclusies	83
5. HAALBAARHEID VAN KYOTO DOELSTELLINGEN	83
De periode na 2010	84
6. FLEXIBELE INSTRUMENTEN: EMISSIEPLAFONDS, VERHANDELBARE REDUCTIECERTIFICATEN	85
Suggesties	86

7. DISCUSSIE EN CONCLUSIES	86
7.1. Externe effecten in het algemeen	86
7.2. Verhandelbare rechten en flexibele instrumenten	87
7.3. Biomassa	87
7.4. De Nederlandse landbouw	87
Sinks in Nederland	88
7.5. De periode na 2010	88
7.6. Voorlopige conclusies	88
7.6.1. Wat zijn de mogelijkheden voor verdergaande emissiereductie maatregelen voor de verschillende sectoren van LNV?	
7.6.2. Wat zijn de mogelijke effecten?	
7.6.3. Wat zijn de kansen en bedreigingen?	
Bijdrage van sinks in Nederland	90
7.7. Tot slot	90
REFERENTIES	93
BIJLAGE A	95

VOORWOORD

Deze quickscan richt zich op de emissiereductiemogelijkheden voor de verschillende sectoren binnen de Nederlandse landbouw voor verschillende broeikasgassen. De quickscan neemt Kyoto als uitgangspunt en de Nederlandse taakstellingen zoals o.a. verwoord in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid (Deel 1). Bijzondere aandacht wordt besteed aan de mogelijkheden om in Nederland tot emissiereductie te komen en de mogelijkheden om via JI en CDM een gedeelte van de doelstellingen in het buitenland te behalen. Belangrijke aspecten bij de keuze van maatregelen e.d. zijn kosteneffectiviteit en de verdeling van de kosten over de verschillende sectoren binnen de economie, waaronder de landbouwsectoren, mede in het licht van de internationale coördinatie van het beleid o.a. via de EU.

In de quickscan wordt ook aandacht besteed aan de aanverwante beleidsterreinen, zoals verzuring en eutrofiering (NH₃ beleid en effecten op CH₄ en N₂O emissies) en de mogelijkheden van biomassa, bosbouw en multifunctioneel bosgebruik, o.a. voor source en sink functies, houtwinning en voor recreatie. Ook het energiebeleid en de gewenste besparing op fossiele brandstoffen wordt verkennend in de analyse betrokken, alsmede de beschikbaarheid van duurzame energie in de toekomst. De kansen voor de landbouwsectoren worden in dit licht verkend.

De quickscan richt zich op de kansen, mogelijkheden en onmogelijkheden om de Kyoto-doelstellingen voor de periode 2008-2012 te behalen en richt zich verkennend op de periode daarna. De implementatie van het beleid kan via beoogde emissiereducties t.o.v. een bepaald basisjaar, maar ook via het vast stellen van emissieplafonds. Voor- en nadelen van economische instrumenten worden in dit licht besproken, o.a. in de internationale context, mede op basis van de VROM-workshop over economische instrumenten eerder dit jaar.

Discussiepunten, conclusies en aanbevelingen worden geformuleerd op basis van een verkennende analyse.

Dank gaat uit naar Wolter Elbersen (ATO) Marieke Meeusen (LEI) en Paul Mensink (WUU-Milieu-economie) voor het beschikbaar stellen van gegevens en naar Gideon Kruseman (WUU-Milieu-economie) voor commentaar op een eerdere versie van het rapport.

Namens de auteurs,
Ekko van Ierland

Wageningen, 1 Oktober 1999

SOCIO-ECONOMISCHE ASPECTEN VAN KLIMAATVERANDERING EN LANDBOUW

1 Inleiding

Klimaatverandering vereist een steeds meer gedetailleerde invulling van het beleid dat via internationale verdragen op hoofdlijnen is afgesproken. Op veel gebieden is het technisch en natuurwetenschappelijk onderzoek al ver gevorderd, maar er blijven nog veel vragen bestaan op het gebied van emissiemetingen en schattingen van de omvang van sources en sinks van broeikasgassen.

Ook op economisch terrein heeft het nodige onderzoek plaats gevonden, o.a. naar de kosten van emissiereductie. Toch kan worden geconstateerd dat er nog veel nieuwe reductiemogelijkheden bestaan, waarvan de emissiereductiekosten onvoldoende zijn geanalyseerd of waarvan het onduidelijk is hoe de kosten moeten worden toegerekend aan de verschillen verontreinigende stoffen. Ook bestaat nog grote onzekerheid over de secundaire effecten van het klimaatbeleid op de diverse sectoren van de Nederlandse economie en van de Nederlandse agrarische sector en de verwerkende industrie in het bijzonder.

Klimaatvraagstukken en klimaatbeleid zijn sterk verbonden met andere beleidsterreinen, zoals het energie- en verkeersbeleid, maar ook vraagstukken van waterhuishouding, beheer van de groene ruimte, bosbouw en de teelt van biomassa zijn direct of indirect aan klimaatvraagstukken verbonden (cf. van Ierland et al. 1996; Faaij, 1997; Faaij et al, 1999).

Het voorgenomen Nederlandse Klimaatbeleid is vastgelegd in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid, mede gebaseerd op het Optiedocument voor emissiereductie van Broeikasgassen en het Vervolgoptiedocument. Er is nog een uitvoerige discussie gaande over de kosteneffectiviteit van het voorgenomen beleid en over de inzet van economische instrumenten op de korte en de langere termijn.

Deze notitie is bedoeld om de discussie te bevorderen over de betekenis van klimaatverandering voor het beleidsterrein van LNV en de mogelijke bijdragen die de sectoren van de Nederlandse landbouw kunnen leveren aan het verminderen van de netto uitstoot van broeikasgassen. Ook wordt aandacht besteed aan het in te zetten beleidsinstrumentarium en de afstemming met andere genoemde vraagstukken van de landbouw en de ontwikkeling van het landelijk gebied.

2. Kyoto en de Nederlandse landbouw

Tijdens en na de Kyoto conferentie is afgesproken dat de EU in de periode 2008-2012 een emissiereductie tot stand zal brengen van 8% ten opzichte van 1990 voor alle broeikasgassen. De Nederlandse bijdrage aan deze doelstelling bedraagt 6% te behalen in het jaar 2010. De totale emissie van broeikasgassen in Nederland in 1990 bedraagt 218 Mton CO₂ eq. Bij ongewijzigd beleid groeit deze tot 256 Mton in 2010. De doelstelling voortvloeiend uit het Kyoto protocol bedraagt voor Nederland 206 Mton CO₂ eq. De emissiereductie doelstelling dient volgens de gemaakte afspraken voor 50% in Nederland te worden behaald en kan voor maximaal 50% in het buitenland worden gerealiseerd middels joint implementation (JI), clean development mechanism (CDM) of internationale emissie trading (ET). CDM kan meetellen van af het jaar 2000, JI en ET pas vanaf 2008.

De beoogde sectorale emissie reducties in 2010 volgens de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid zijn samengevat in Tabel 1. De kosten van de maatregelen zijn opgenomen in Tabel 2. Emissieontwikkeling voor de diverse gassen voor de Nederlandse landbouw (exclusief maatregelen) zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 1: Emissiereductie per doelgroep voor het jaar 2010 volgens de Uitvoeringsnota
Klimaatbeleid

Sector	Emissie in 2010 bij ongewijzigd beleid in Mton CO ₂ eq in % tov ongewijzigd beleid	Reductie in 2010
Industrie	89	11.2
Energiebedrijven	61	13.1
Landbouw	28	7.0
Verkeer	40	7.4
Huishoudens	23	10.0
Handel, diensten,overheid	12	8.3
Overige	6	-

Bron: VROM, 1999:11

Tabel 2: Kosten van de maatregelen in het basispakket, miljoen gulden per jaar in 2010

	Nationale kosten	Eindverbruikerskosten
Energiebesparing verkeer en vervoer	-475	-
Energiebesparing overige sectoren	665	250
Duurzame energie en maatregelen		
Kolencentrales	660	920
Overige broeikasgassen	140	220
Totaal	990	1390

Bron: VROM, 1999:13

Tabel 3: Emissies van broeikasgassen door de Nederlandse landbouw voor 1997 en twee
scenario's voor 2010, Mton CO₂ eq.

Mton CO ₂ eq.	1997	2010 EC	GC
CO ₂	9	14	14
waarvan glastuinbouw	7,4		
Methaan	10	9	7
N ₂ O	8	7	7
Totaal van deze gassen	27	30	28

In deze scenario's is al rekening gehouden met een inkrimping van de veestapel :
1980 index = 86; 1990 index=100; 2010 GC index=82; 2010 EC index= 96.

Bron: VROM, 1999:31.

2.1 De Nederlandse land- en tuinbouw

De bijdrage van de Nederlandse land- en tuinbouw aan de Nederlandse emissies van broeikasgassen is ongeveer 11-12%. Het agrarisch aandeel in de CO₂-uitstoot wordt geraamd op 5%, maar bij twee andere broeikassen (lachgas en methaan) ligt het aandeel van de landbouw rond de 40%. De emissies van CH₄ zijn door de vermindering van de rundveestapel verminderd. De opslag van dierlijke mest is een andere bron van de emissies van methaan.

De export levert een belangrijke bijdrage aan de in Nederland geëmitteerde hoeveelheid broeikasgassen, zowel door de primaire productie als door verwerking en transport. Ongeveer 70% van het gecumuleerde inkomen in Nederland hangt samen met de afzet naar het buitenland. De energie-intensieve glastuinbouwsectoren zijn relatief sterk afhankelijk van de export. De CO₂-emissie in de glastuinbouw is vanaf het midden van de jaren tachtig tot het begin van de jaren negentig min of meer constant toegenomen en is sindsdien gestabiliseerd. Factoren die hier in belangrijke aan hebben bijgedragen zijn de uitbreiding van het glasareaal, de intensivering van de productie en de hogere energie-efficiency. In de jaren negentig zijn de emissies van N₂O gestegen, vooral als gevolg van het onderwerken van dierlijke mest.

In onderstaande tabel is een beknopt overzicht opgenomen van de samenhang tussen verschillende beleidsthema's en de beleidsvragen die hieraan ten grondslag liggen.

Beleidsthema	Samenhang met klimaatbeleid
Integratie klimaatbeleid met andere beleidsterreinen	Worden doelstellingen in het klimaatbeleid bereikt (en zo ja, in welke mate) wanneer overige beleidsdoelstellingen voor de agrarische sector worden gerealiseerd? Dit geldt onder andere voor maatregelen vastgelegd in het mest- en ammoniakbeleid, het energiebeleid, het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB). Ook specifiek beleid gericht op de inzet van bio-energie en versterking van biologische landbouw is hier van belang
Aanpassing prijsmechanismen	In welke mate kunnen doelstellingen in het klimaatbeleid bereikt worden door het versterken van prijsprikkels, bijvoorbeeld door vergroening van het fiscaal stelsel, de inzet van economische instrumenten die energie- en materiaalstromen beïnvloeden. Welke impuls geven economische instrumenten aan technologische innovaties die een vermindering van emissies tot gevolg hebben. Op welke wijze kan het maatschappelijk draagvlak voor de inzet van economische instrumenten vergroot worden?
Versterking marktwerking	Kan met een stelsel van verhandelbare emissierechten op kosten-effectieve wijze de milieuprestaties verbeterd worden en op welke wijze zou dit instrument geïmplementeerd kunnen worden?
Zelfregulering door de agrarische sector en vrijwillige afspraken met doelgroepen	Hoe kan een systeem van zelfregulering een bijdrage geleverd worden aan de doelstellingen van het klimaatbeleid (conform GLAMI, MPS, MBT). Op welke wijze kunnen vrijwillige maatregelen door de sector een bijdrage leveren aan de doelstellingen van het klimaatbeleid? Welke rol speelt certificering van bedrijfssystemen en labelling van producten daarbij? Dragen de meerjarenafspraken die zijn geformuleerd in relatieve termen, in voldoende mate bij aan het halen van emissieplafonds, die zijn gesteld in absolute termen?

Op dit moment bestaat nog onvoldoende inzicht in de kosten, en mogelijk ook andere maatschappelijke randvoorwaarden, van maatregelen om de emissies van broeikasgassen in de landbouw te verminderen. Verkenningen omtrent mogelijkheden voor reductie van deze emissies zullen dan ook in hun maatschappelijke context moeten worden onderzocht. Vragen liggen globaal op drie terreinen:

1. Op welke wijze kan een gebiedsgerichte ontwikkeling van de landbouw een bijdrage leveren aan de invulling van het Nederlandse klimaatbeleid? Bij een dergelijke benadering staat de vraag centraal of een gebiedsgerichte aanpak een gerichte en kosten-effectieve bijdrage kan leveren aan het nationale klimaatbeleid (zoals verwoord in NMP3 en de recente Uitvoeringsnota Klimaatbeleid). Ook zal daarbij verkend worden welke dilemma's en mogelijkheden er bestaan voor het realiseren van het nationale klimaatbeleid met overige beleidsterreinen. Zo kan er sprake zijn van kansen voor het realiseren van doelstellingen op klimaatgebied bij uitvoering van MINAS, GLB en een verdere invullen

van geïntegreerde plattelandontwikkeling en een verbreding van landbouwdoelstellingen. Zo is bijvoorbeeld de vraag in hoeverre grootschalige omschakeling op energiegewassen een haalbaar alternatief vormt naast aanplant van bos. Ook is van belang in hoeverre het klimaatbeleid samenhangt met andere beleidsterreinen die van belang zijn voor de ontwikkeling van de agrarische sector. Het ontwikkelen van adequaat instrumentarium is van belang bij het verkennen van de klimaatdimensie als integrale benadering in het landelijk gebied.

2. In welke schakels van de agribusiness kan op kosteneffectieve wijze een bijdrage aan de vermindering van broeikasgassen worden geleverd, hoe kan via ketenbeleid tot reductie worden gekomen en welke rol kan de agrologistiek (40% van het beroeps-goederenvervoer) daaraan bijdragen? De ontwikkeling van de primaire productie kan daarbij gezien worden in samenhang met andere schakels van de productie (toelevering, distributie en verwerking) en de rest van de economie. Zo is de vraag van belang in hoeverre vermindering van emissies in bepaalde sectoren van de landbouw tegen relatief beperkte kosten bereikt kan worden. Verwacht mag worden dat een vermindering van de CO₂-emissies in bijvoorbeeld de glastuinbouw tot andere kosten leidt dan een vermindering van de CH₄-emissies in het melkveehouderijcomplex. Een vermindering van emissies zal dan gelegd moeten worden naast economische kengetallen als inkomen en werkgelegenheid. Het ontwikkelen van instrumentarium voor het beantwoorden van deze vragen kan een economische afweging gemaakt worden van verschillende opties voor vermindering van de emissies van broeikasgassen.
3. Welke aanpassingen in de bedrijfsvoering zijn kansrijk om op kosteneffectieve wijze emissies van broeikasgassen te reduceren. Verwacht mag worden dat aanpassing in het bedrijfsmanagement op verschillende terreinen tot een vermindering van broeikasgassen kan leiden (vermindering van N₂O-emissies door mineralenmanagement en vermindering van CH₄-emissies door veevoederaanpassingen) en CO₂ in de glastuinbouw (door deelname aan GLAMI). Het ontwikkelen van kennis op bedrijfsniveau kan de inpasbaarheid van opties voor het verminderen van broeikasgassen op bedrijfsniveau in beeld brengen.

2.2 Emissies van broeikasgassen en andere milieubelastende stoffen in de glastuinbouw

De glastuinbouw onderscheidt zich van andere landbouwsectoren door een relatief hoog energiegebruik per hectare en per hoeveelheid geoogst gewas. Dit heeft uitstoot van milieuverontreinigende stoffen tot gevolg, waaronder kooldioxide (CO₂), methaan (CH₄), stikstofoxiden (NO_x) en zwaveldioxide (SO₂). Daarnaast resulteert het gebruik van kunstmest in de glastuinbouw tot emissies van lachgas (N₂O) en vermestende stoffen (stikstofverbindingen en fosfaat). De Nederlandse glastuinbouw is dus niet alleen een bron van broeikasgassen (CO₂, CH₄ en N₂O), maar ook van verzurende stoffen (met name NO_x) en vermestende stoffen.

Tabel 4 geeft een overzicht van de belangrijkste emissies van milieuvervuilende stoffen door de Nederlandse glastuinbouw. Het blijkt dat gasgebruik voor het verwarmen van kassen en CO₂ bemesting de belangrijkste bron is van broeikasgasemissies. De uitstoot van CH₄ en N₂O bedraagt slechts enkele procenten van de totale broeikasgasemissies uit de Nederlandse glastuinbouw. De belangrijkste verzurende emissie wordt veroorzaakt door NO_x uitstoot tengevolge van energiegebruik, kunstmestgebruik en de productie van steenwol. En de vermestende emissies zijn vooral het gevolg van NO_x emissies en nitraat- en fosfaatverliezen tengevolge van kunstmestgebruik.

De glastuinbouw en de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid

De Uitvoeringsnota Klimaatbeleid bevat een basispakket aan maatregelen, waarmee de emissiereductiedoelstelling in Nederland gerealiseerd zou kunnen worden. De doelstelling is geformuleerd voor het jaar 2010 en betreft een reductie van de Nederlandse broeikasgasemissies met ca. 25 Mton CO₂ ten opzichte van de trend. Een van de maatregelen

in dit basispakket betreft energiebesparing en CO₂-buffers in de glastuinbouw. De beoogde reductie in 2020 door deze maatregel bedraagt 2 Mton CO₂. Volgens de uitvoeringsnota kan dit (deels) gerealiseerd worden door de uitvoering van een reeds getekend convenant. De overheidsbijdrage aan deze maatregel bedraagt tenminste f 75 mln voor stimulering van restwarmte benutting (VROM, 1999).

Een mogelijk probleem bij het realiseren van de 2 Mton CO₂ emissiereductie in de glastuinbouw kan worden veroorzaakt door het feit dat de doelstellingen in het bestaande convenant zijn geformuleerd in termen van efficiency-verbeteringen per eenheid product. Dit kan resulteren in een situatie waarin enerzijds de energie-efficiency verbeteringen per eenheid product verbetert, maar anderzijds de totale productie toeneemt, met een onduidelijk netto effect.

Tabel 4: Geschatte emissies van CO₂, NO_x en vermestende stoffen uit de Nederlandse glastuinbouw.

	Emissie	Emissie in index- equivalenten
Broeikasgassen		
CO ₂	Kton	kton CO ₂ -eq
- aardgas	7672	7672
- elektriciteit	767	767
TOTAAL	8439	8439
Verzurende stoffen		
NO _x	Ton	ton SO ₂ -eq
- aardgas	6134	4294
- kunstmest	720	504
- elektriciteit	1242	869
- steenwol	504	353
TOTAAL	8600	6020
Eutrofiërende stoffen		
Stikstof		
- aardgas (NO _x)	1840	793
- kunstmest (NO _x)	216	94
- nitraatuitspoeling	1941	815
- elektriciteit (NO _x)	373	161
- steenwol (NO _x + NH ₃)	176	74
TOTAAL Stikstof	4546	1937
Fosfor		
- fosfaat naar water/bodem	359	1098
TOTAAL Fosfor	359	1098

Bron: Pluimers, 1999.

3. Reductiemogelijkheden in de Nederlandse landbouw

De maatregelen voor de Nederlandse Landbouw omvatten efficiencyverbetering in de glastuinbouw en gebruik van restwarmte in de glastuinbouw en vele maatregelen in het kader van het reductieplan overige broeikasgassen, groenlabelling en normstelling voor nieuwbouw van kassen. Het milieuconvenant voor de Glastuinbouw moet leiden tot 2 Mton reductie in 2010 ten opzichte van GC. Daarnaast kan ook CO₂ levering vanuit de industrie en buffering van CO₂ tot een beperking van circa 4 Mton per jaar leiden. Een belangrijk aandachtspunt is het benutten van restwarmte van electriciteitsopwekking in de glastuinbouw door middel van warmtekrachtkoppeling. Ook de recente plannen voor de inkrimping van de veestapel zullen bijdragen aan het beperken van de emissies van broeikasgassen. Daarnaast wordt middels versnelde aanleg van bos in het jaar 2010 0,1 Mton per jaar vastgelegd in bossen.

Binnen het programma Reductie overige broeikasgassen (ROB) wordt nagegaan in hoeverre de emissies van CH₄ kunnen worden beperkt door mestvergisting en welke mogelijkheden er zijn om de emissies van N₂O terug te dringen via aanpassingen in de bedrijfsvoering en stalaanpassingen. De kosteneffectiviteit van deze mogelijkheden is vanwege het experimentele karakter nog niet duidelijk. In de optiedocumenten en de uitvoeringsnota is weinig aandacht is voor N₂O emissies uit de landbouw, terwijl dit de grootste antropogene bron van N₂O in Nederland is. De N₂O uitstoot uit de Nederlandse landbouw is wellicht aanzienlijk te reduceren. Voor wereldwijde N₂O emissies is geschat dat door inzet van beschikbare maatregelen de uitstoot met 20-25% kan dalen in de periode 2000 - 2020 (Kroeze & Mosier, in press; Mosier et al., 1998a). In deze schatting wordt de meeste reductie gerealiseerd in de landbouw in gematigde streken. Mogelijke maatregelen zijn:

- efficiënter stikstofgebruik door o.a. precisiebemesting (Mosier et al., 1998a)
- alternatieve wijze van mesttoediening (Mosier et al., 1998a)
- optimalisatie van grondwerking en drainage (Mosier et al., 1998a)
- aerobe mestopslag vervangen door anaerobe (Mosier et al., 1998b)
- een pakket maatregelen voor beweid grasland (Oenema et al., 1998; Velthof et al., 1998)
- een verandering in het dieet van mensen (minder vlees) (Bleken, 1997)

Niet al deze maatregelen zijn effectief in Nederland en verschillende maatregelen hebben negatieve bij-effecten (bijvoorbeeld toenemende CH₄ emissies of, in het geval van nitrificatieremmers, te grote risico's voor de omliggende natuurgebieden). Maar desalniettemin lijkt het erop dat er kansen zijn voor reductie van N₂O emissies uit de Nederlandse landbouw.

Overigens zijn naar verwachting in de chemische industrie N₂O emissiereducties mogelijk in de orde van grootte van 10 Mton CO₂ eq. door introductie van katalysatoren, tegen relatief geringe kosten van f 2-3 per ton.

3.1 Opties voor emissiereductie in de glastuinbouw

Er zijn verschillende manieren om de emissies van broeikasgassen uit de Nederlandse glastuinbouw te verminderen (Tabel 5). Deze opties zijn doorgaans gericht op het beperken van het gasgebruik in kassen en kunnen in drie categorieën worden verdeeld (1) maatregelen die genomen kunnen worden op bedrijfsniveau, (2) maatregelen die het bedrijfsniveau overstijgen en (3) inzet van duurzame energie.

Technische opties om het gasgebruik te reduceren op bedrijfsniveau zijn bijvoorbeeld (Tabel 5):

- het gebruik van een klimaatcomputer, waardoor efficiënter kan worden omgegaan met energie
- warmtebuffers in combinatie met het gebruik van zuivere CO₂, waardoor het gasgebruik op het bedrijf afneemt
- het gebruik van schermen, waardoor de warmtevraag daalt
- alternatieve kasomhulling met een groter isolerend vermogen
- het gebruik van warmtepompen
- warmtekrachtkoppeling (WKK), waarbij overtollige elektriciteit al dan niet kan worden teruggeleverd aan het net
- het gebruik van condensoren waardoor warmte efficiënter wordt geproduceerd

Daarnaast zijn er maatregelen die het bedrijfsniveau overstijgen, waaronder de levering van restwarmte door elektriciteitscentrales aan glastuinbouwgebieden en de inzet van duurzame energie (Tabel 5). Een aantal van de in Tabel 5 genoemde maatregelen wordt inmiddels toegepast in de Nederlandse glastuinbouw, maar het volledige potentieel is vermoedelijk nog niet benut. Van der Velden (1996) onderzocht potentiële penetratiegraden van energiebesparende opties in de glastuinbouw, door middel van een modelstudie op basis van het "bedrijven informatie net" van LEI-DLO. Met dit model zijn de technische en economische mogelijkheden van energiebesparing in de glastuinbouw onderzocht. Van der Velden (1996) concludeerde het volgende:

- Jaarlijks kan 14% van het primair energieverbruik (600 miljoen m³ = 1.08 Mton CO₂) worden bespaard door middel van warmtelevering, warmteopslag en condensoren. De hiervoor benodigde investering door tuinders bedraagt 182 miljoen gulden

- Op dit moment zijn energiescherm, alternatief kasdek, WKK-installatie op bedrijfsniveau (met en zonder elektriciteitslevering aan het net) bedrijfseconomisch gezien geen mogelijkheden. Door een betere technische prestaties van deze opties zou dit kunnen veranderen.

De bijdrage van hernieuwbare energiebronnen aan het energiegebruik in de glastuinbouw bedroeg in 1995 minder dan 0,1 % (De Lange and Van Dril, 1998). De Lange en Van Dril (1998) hebben toekomstige inzet van duurzame energie in de glastuinbouw onderzocht voor drie varianten van het zogenaamde "European Coordination" (EC) Scenario: een basisscenario, een scenario met lage prijzen en een scenario met hoge prijzen. In deze varianten bedraagt de inzet van duurzame energie 0,9% (lage prijzen variant), 3,4% (basis scenario) en 10% (hoge prijzenvariant). De belangrijkste opties blijken windenergie, warmtepompen, en het gebruik van een bassin voor thermische opslag.

Tabel 5: Opties voor de reductie van CO₂ emissies uit de Nederlandse glastuinbouw (Van der Velden et al, 1997). NB kosten betreffen investeringskosten en zijn exclusief onderhoudskosten en variabele kosten.

Reductie optie	Huidige toepassing (penetratiegraad 1995-1996)	Potentiële technische penetratiegraden	Reductie – percentage per toepassing van optie	Kostenraming investering per hectare
Technische opties op bedrijfsniveau				
Klimaatcomputer	87%		4%	
Condensor	57% van alle ketels	+30%	10%	60,000 Dfl/ha
Warmtebuffers/ Zuivere CO ₂ dosering	14% warmte buffer nauwelijks zuivere CO ₂	+32%	0-10 %	85,000 Dfl/ha
Schermen	60% van het areaal	+11%	5-15%	150,000 Dfl/ha
Alternatieve kasomhulling	< 10%	+26%	10-35%	850,000 Dfl/ha
Warmte pomp	< 1%	+78%	Warmte dekking is 38% (27-42%)	280,000 Dfl/ha
WKK				
Met teruglevering elektriciteit	< 1%	+78% bedr.		300,000 Dfl/ha
Zonder "	< 10%	+2%		
Opties op glastuinbouw-clusterniveau				
WKK-STEG; Restwarmte	13%	+32%		
Gebruik van hernieuwbare energiebronnen				
Aardwarmte		0-4% ¹	35-60% ²	
Zonnecollectoren		0% ¹	-	
Bassins		0-10% ¹		
Windenergie		0-10% ¹	0-10% ²	
Biomassa		-	-	
Fotovoltaïsche energie		-	-	

¹ penetratiegraad voor 2010 op basis van EC scenario

² dekkingsgraad warmtelevering

3.2 Veranderingen in landgebruik

De kosten van geteelde biomassa in Nederland vallen in de range van Dfl 175,- -275,- per ton droge stof (Meeusen, 1999). Voor de Verenigde Staten geldt een range van \$22 tot \$110 per ton droge stof (Walsh, 1998). Kosten van biomassa uit afvalhout e.d. komen rond de Dfl 100,- per ton droge stof (Meeusen, 1999). Kosten van miscantus en wilg zijn moeilijk in te schatten want er is nog relatief weinig ervaring mee. Energie uit biomassa in Nederland blijkt daarmee relatief duur te zijn. 'Multifunctioneel' gebruik van biomassa (het combineren van vezel en energie-opwekking, landschappelijke waarde, biodiversiteit) zou de teelt van biomassa in Nederland meer rendabel kunnen maken (Eker et al., 1999; Elbersen, 1999; zie ook Graham et al. 1996; Hall, 1997).

Enkele citaten over de teelt van biomassa in de VS

"Today, President Clinton will announce new steps to spur bio-based technologies that can help grow the economy, enhance U.S. energy security, and meet environmental challenges like global warming. The President will issue an Executive Order coordinating Federal efforts to accelerate these 21st century technologies - which can convert crops, trees, and other "biomass" into a vast array of fuels and materials - and set a goal of tripling U.S. use of bioenergy and bioproducts by 2010. Meeting this goal could create \$15 billion to \$20 billion in new income for farmers and rural America, and reduce annual greenhouse gas emissions by up to 100 million tons - the equivalent of taking more than 70 million cars off the road. In addition, the President will call on Congress to approve his proposed research funding and tax credits to promote energy efficiency, bioenergy, and other clean energy sources. "(The White House, 1999)

"Analysis indicates that at farmgate prices of \$55/dry Mg of switchgrass [and approximately \$60/dry Mg for poplar and willow] 80 million dry Mg of biomass could potentially be produced annually at profit at least as great as could be earned using the land to produce traditional agricultural crop [...] ;land currently in the production of all major agricultural commodities could shift to energy crop production with the greatest shifts being from non-alfalfa hay and wheat.As a result of changes in land allocation among the crop, crop prices increase as does net farm returns" (Walsh et al, 1998)

3.3 Vernatting van de veengebieden

Nederland beschikt over 450.000 ha grasland op veen. Deze graslanden zijn volgens metingen van ECN-Petten een bron van C in de orde van 0-3% van de nationale CO₂ emissie. De bruto emissie van CO₂ ligt in de orde van 15% van de nationale CO₂ emissie.

Vernatting van graslanden in het veenweidegebied vermindert de afbraak van veen en leidt zeer waarschijnlijk tot nieuwe veenvorming. Hiermee kunnen deze graslanden veranderen van een bron van CO₂ in een put voor CO₂.

Omvorming van veenverbrandende graslanden naar veenvormende graslanden heeft alles van doen met vernatting. Van belang is dat deze graslanden redelijk productief blijven en derhalve de aanvoer van substraten die de bron van veen vormen, gaande blijft.

Het bepalen van het netto-effect van vernatting is niet eenvoudig en hangt onder meer samen met mate, duur, seizoensaliteit van de vernatting. Indien slechts een gedeelte van het jaar de grondwaterstand hoog blijft, is deze maatregel in termen van veenvorming minder effectief dan bij permanente vernatting.

Er wordt soms gesteld dat veenvorming vele malen effectiever is dan bebossing. Dit is ongetwijfeld juist als we de totale hoeveelheid vastgelegde C in een bos of een veenbodem bezien. Echter, in relatie tot het leveren van een bijdrage aan de reductie van de Nederlandse emissie van broeikasgassen is niet zozeer de totale voorraad maar de snelheid van vorming van belang. Veenvorming zal minstens even snel verlopen als houtvastlegging in bossen. Veenbodems kunnen ongetwijfeld op lange termijn (>50 jaar) meer C vastleggen per ha dan

bos in hout. C in venen is zeer stabiel mits de veenvorming blijft doorgaan en geen ontwatering plaatsvindt (zoals gedurende de laatste eeuw in het veenweidegebied).

Een netto koolstofvastlegging in "vernatte" veengebieden van 0,20 ton C ha⁻¹.jaar⁻¹ is een veilige schatting. Dit is equivalent aan 0,73 ton CO₂-gas ha⁻¹.jaar⁻¹. Echter, nog in 1992 heeft Franken et al. (1992) geschat dat de natte gebieden in Nederland netto een kleine hoeveelheid CO₂ uitstoten; dit als gevolg van de grondwaterverlaging door ontwatering. In 1992 was dit 0,06% van de totale CO₂ emissie in Nederland.

Tegenover het netto- koolstofvastleggingseffect van de vernatting van grasland veengebieden staat echter dat er ook een behoorlijke productie van methaan plaatsvindt: 22 g CH₄ m⁻² jr⁻¹ ofwel 16 g C m⁻² jr⁻¹. Het effect op de koolstofbalans van het veen is niet groot, maar het broeikasgaseffect van methaan is vele malen groter dan dat van CO₂ (Global Warming Potential van CH₄ is 24.5). Het veen legt dus ong. 740 CO₂ equivalenten vast, maar produceert 540 CO₂-equivalenten in de vorm van methaan. Het netto-effect op de broeikasgassenbalans is dus nog steeds positief, maar kleiner dan je op basis van de C-accumulatie zou verwachten. Het is vooral belangrijk te realiseren dat een toename van de N-depositie de C-accumulatie doet afnemen doordat de groei van veenmossen geremd wordt t.g.v. meer schaduw door vaatplanten.

3.4 Conclusie

Veeenvorming door vernatting draagt bij aan netto reductie broeikasgasemissies. Orde van grootte bedraagt enkele procenten van totale Nederlandse CO₂ emissie, indien volledige veenweidegebied wordt vernat. Als de vernatting van het veenweidegebied toch noodzakelijk is om redenen van waterhuishouding zijn aan deze maatregelen geen kosten verbonden die moeten worden toegerekend aan het klimaatbeleid.

Ook andere veranderingen in het landgebruik kunnen een bijdrage leveren aan de vermindering van de emissies van broeikasgassen. Verschuivingen in de akkerbouw, omzetting van landbouwgrond in natuur en omzetting van grasland in akkers leidt tot veranderingen in de voorraden CO₂ en overige broeikasgassen die erin zijn vastgelegd en in de jaarlijkse fluxen. Omdat deze veranderingen in bodemgebruik grote indirecte gevolgen hebben voor de Nederlandse landbouwsector is een uitvoerige economische analyse vereist die verder gaat dan de partiele effecten van elke maatregel afzonderlijk.

De emissiereductiemogelijkheden binnen de landbouwsector moeten worden vergeleken met de opties voor de overige sectoren (zie Tabel 6 en de Tabellen in bijlage A). Daarbij zijn energiebesparing en verandering van brandstofmix belangrijke opties, naast de ondergrondse opslag van CO₂ in aquifers en/of uitgeputte aardgasvelden. In een recent artikel in ESB betoogt Lenstra (1999) dat ondergrondse opslag een aantrekkelijke optie is omdat energiebesparing bij een lage olieprijs een relatief dure optie is. Omdat de aanwezige voorraden fossiele brandstoffen groter zijn dan oorspronkelijk werd geschat, is een lage olieprijs volgens Lenstra in de toekomst goed mogelijk. "Onder Nederland bestaat een ruime capaciteit in gasvelden en in aquifers. Er kan naar schatting twaalf Gigaton CO₂ onder het Nederlandse platteland worden opgeslagen, dat is vijftig keer onze totale jaarlijkse emissie".

In bijlage A zijn enkele emissiereductiekosten curves voor Nederland en het buitenland opgenomen ontleend aan IPCC (1995) en een overzichtstabel van de emissie-reductie-mogelijkheden in Nederland, gerangschikt naar kosteneffectiviteit, ontleend aan ECN/RIVM (1998).

Tabel 6 : Enkele voorbeelden van kostenschattingen van emissiebeperking in Nederland en de wereld.

	Hoeveelheid Mton CO ₂ eq.	Gulden per vermeden ton CO ₂ eq.
In Nederland:		
CO ₂ opslag in Nederland		
Bij een capaciteit van 3,3 Mton	3,3	30
Bij hogere capaciteit		140
N ₂ O reductie chemische industrie	10	2-3
Gebruik duurzame energie	zeer groot	120-160
Energiebesparing		160-220
In andere landen:		
Aanleg van bos in ontwikkelingslanden	zeer groot	1-20
Aanleg van windenergie park in ontwikkelingsland		geen, want reeds commercieel aantrekkelijk
Tegengaan van ontbossing Brazilië		100

Bron: o.a. VROM, 1999.

4. Relatie met aanverwante beleidsterreinen

Het klimaatbeleid heeft raakvlakken met nagenoeg alle andere beleidsterreinen. De belangrijkste zijn het energiebeleid, het verkeersbeleid en het landbouwbeleid, inclusief de bosbouw en veranderingen in grondgebruik. Ook op het gebied van het overige milieubeleid bestaan raakvlakken, onder andere met de uitstoot van aan energiegebonden stoffen (SO₂, NO_x, CH₄) en emissies van overige broeikasgassen N₂O en CFK.

In veel gevallen komen de gassen voort uit dezelfde bron (bijvoorbeeld fossiel energiegebruik, of bepaalde landbouwactiviteiten). Soms leidt emissiereductie van een verzurende stof tot een verhoging van broeikasgassen of bestaan er juist positieve synergetische effecten, hetzij in de toepassing van een bepaalde emissiereductietechnologie, hetzij in de atmosferische processen. Zo kan bijvoorbeeld de vermindering van NO_x emissies met het oog op verzuring in bepaalde omstandigheden leiden tot een toename van de O₃ concentraties.

4.1 Energiebesparing

Energiebesparing leidt niet alleen tot vermindering van emissies van broeikasgassen, maar ook vermindering van stoffen die bijdragen aan verzuring, eutrofiering en smogvorming en stofdeeltjes. Bovendien kunnen belangrijke economische voordelen tot stand komen omdat de kosten van het energiegebruik dalen en meer fossiele brandstoffen, o.a. olie en gas beschikbaar blijven voor toekomstig gebruik.

Om een zo goed mogelijk keuze van technieken en brandstoffen te bevorderen is het van groot belang om alle externe effecten (positieve en negatieve!) in de prijs van de alternatieven tot uitdrukking te brengen. Als dat is gebeurd, kan de markt vervolgens op basis van prijzen de keuze tussen de betreffende alternatieven maken. Onderzoek naar *alle* relevante externe effecten van de verschillende beleidsopties is daarom essentieel.

4.2 Het effect van ammoniak emissiereductie op broeikasgasemissies

Een voorbeeld van relaties met andere beleidsterreinen betreft de ammoniak emissiereductie en de gevolgen ervan voor de emissies van broeikasgassen: Ammoniak emissiereductie kan leiden tot toename van N₂O emissies, maar heeft nauwelijks effect op CH₄ emissies.

De landbouw is naast een bron van ammoniak (NH₃) ook een belangrijke bron van de broeikasgassen methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Emissies van deze drie gassen komen voor een groot deel voort uit dezelfde bronnen, namelijk vee, dierlijke mest en kunstmest. Door deze gemeenschappelijke bronnen zal beleid gericht op reductie van één gas ook invloed hebben op emissies van de andere. Deze interacties hebben een effect op de kosteneffectiviteit van het milieubeleid, maar worden door beleidsmakers vaak niet onderkend.

Het effect van ammoniakbeleid op emissies van CH₄ en N₂O in Europa is onderzocht door Brink en Kroeze (1999), gebruik makend van de NH₃-module van het RAINS model². RAINS bevat data voor de landbouw sector in 36 Europese landen. Verder zijn in het model verschillende maatregelen opgenomen waarmee NH₃ emissies kunnen worden gereduceerd (Klaassen, 1991). CH₄ en N₂O emissies zijn berekend met behulp van gegevens in RAINS en emissiefactoren gebaseerd op de IPCC methode (IPCC, 1997; Mosier et al., 1998). Voor elke NH₃ reductiemaatregel afzonderlijk hebben we een schatting gemaakt wat in Europa het effect zou zijn op de emissies van CH₄ en N₂O (zie Tabel 7).

Tabel 7: Voorlopige schatting van het effect van volledig ingezette individuele NH₃ reductiemaatregelen op totale emissies in Europa en Nederland van NH₃, CH₄ en N₂O in 2010 (procentuele verandering in emissies ten opzichte van geen maatregelen in 2010)

NH ₃ reductiemaatregelen	NH ₃ ¹		CH ₄ ²		N ₂ O ²	
	Europa	NL	Europa	NL	Europa	NL
Voedselaanpassingen (lager stikstofgehalte)	-4	-11	0	0	-2	-5
Biofiltratie van stallucht	-8	-11	0	0	>0	>0
Stalaanpassingen	-7	-12	-1	-2	8	12
Afdekken mestopslag (hoge efficiëntie)	-2	-0.5	2	1	-0.2	-0.2
Afdekken mestopslag (lage efficiëntie)	-1	-0.1	2	1	-0.2	-0.2
Mestinjectie (hoge efficiëntie)	-13	-20	0	0	0-11 ³	0-12
Mestinjectie (lage efficiëntie)	-6	-10	0	0	0-7 ³	0-9
Substitutie van urea door ammonium nitraat	-7	-0.1	0	0	-0.4	<0
Absorptietechnieken in kunstmest productie	-1	-1	0	0	<0	0

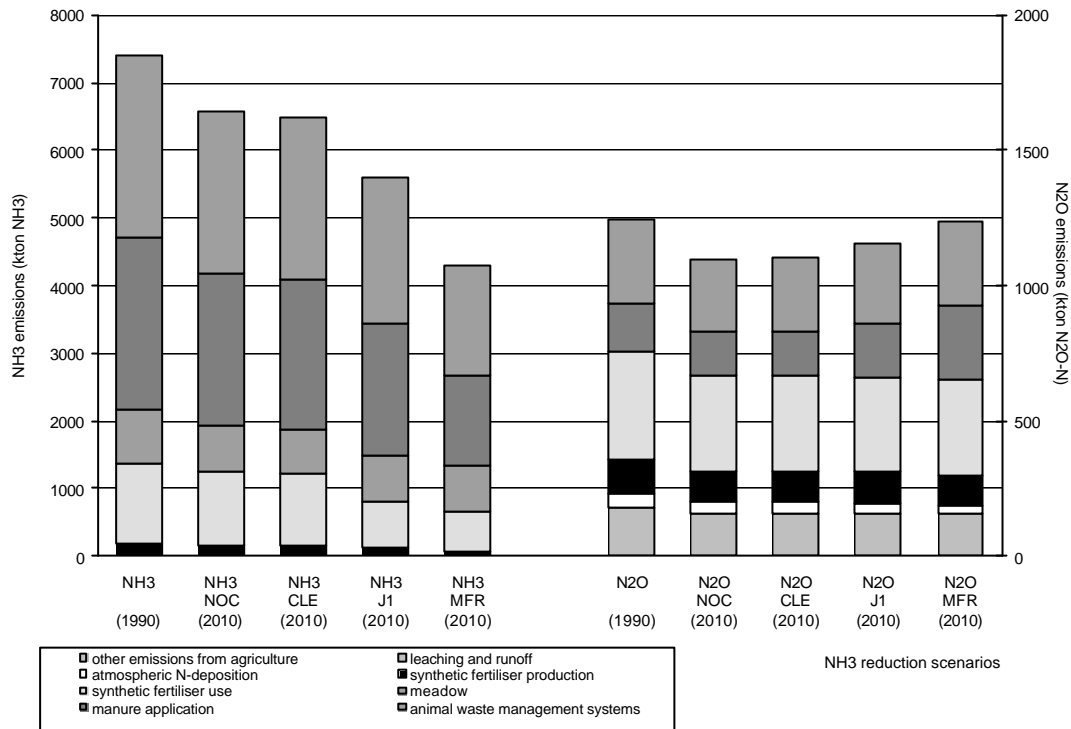
¹ Berekend met RAINS (Amann et al., 1998); ²Voorlopige schattingen; ³Het effect van mestinjectie op N₂O is onzeker; Fig. 1 veronderstelt een toename van N₂O emissies. Bron: Brink en Kroeze, 1999.

Voor 4 verschillende scenario's³ hebben Brink en Kroeze berekend wat de emissies zijn van NH₃, CH₄ en N₂O uit de landbouw in Europa, namelijk de scenario's NOC (geen reductiemaatregelen), CLE (huidige doelstellingen voor NH₃ emissies), J1 (gebaseerd op

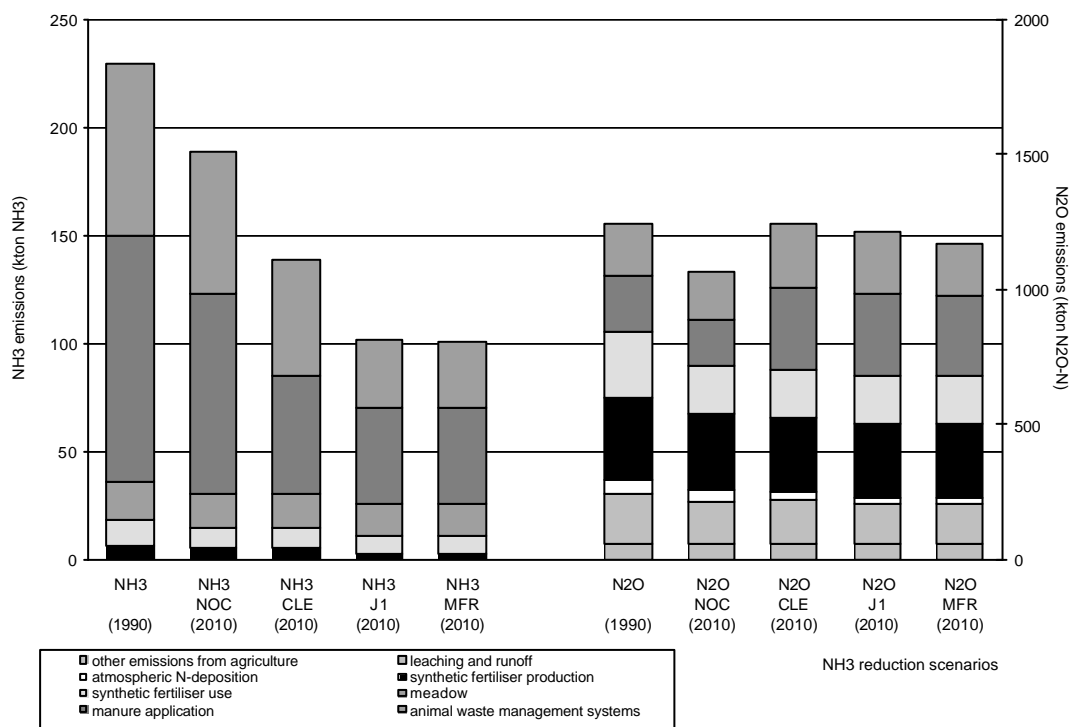
² *Regional Air Pollution Information and Simulation, ontwikkeld door het International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) (Alcamo et al., 1990)*

³ *Deze reductiescenario's zijn gebaseerd op scenario's gebruikt in verschillende analyses met RAINS (Amann et al., 1999).*

doelstellingen voor zuurdepositie in Europa) en MFR (maximale reductie van NH₃ emissies). Voorlopige resultaten geven aan dat NH₃ reducties in Europa niet tegelijkertijd de emissies van CH₄ en N₂O verlagen. Voor N₂O nemen de totale Europese emissies zelfs toe in de verschillende reductiescenario's (Figuur 1). Dezelfde berekeningen voor Nederland alleen laten zien dat in Nederland N₂O emissies vooral toenemen in het scenario dat het huidige ammoniak beleid weergeeft (Figuur 2).



Figuur 1: NH₃ and N₂O emissies uit de landbouw in Europa in 1990 and 2010 (4 scenario's) berekend met RAINS (schattingen voor N₂O emissies in de NH₃ reductiescenario's zijn voorlopige resultaten; verder onderzoek is nodig). Bron: Brink en Kroeze, 1999.



Figuur 2: NH₃ and N₂O emissies uit de landbouw in Nederland in 1990 and 2010 (4 scenario's) berekend met RAINS (schattingen voor N₂O emissies in de NH₃ reductie scenario's zijn voorlopige resultaten; verder onderzoek is nodig). Bron: Brink en Kroeze, 1999.

De toename van N₂O emissies zowel in Europa als in Nederland wordt vooral veroorzaakt door mestinjectie en verder door verschillende stalaanpassingen. Hoewel er een wetenschappelijke discussie gaande is over het effect van mestinjectie op N₂O emissie wordt er veelal vanuit gegaan dat mestinjectie een toename in N₂O emissies tot gevolg heeft (zie bijvoorbeeld Bouwman (1996, p.56) en Velthof en Oenema (1997, p.352)).

Het onderzoek van Brink en Kroeze toont de noodzaak aan om neveneffecten van milieubeleid op een bepaald terrein mee te nemen in het maken van beleid. Wanneer dit niet wordt gedaan kan dit leiden tot extra kosten die moeten worden gemaakt om de ongewenste neveneffecten teniet te doen.

4.3 Sociaal economische aspecten van bosbeheer en aanpassing aan klimaatverandering

Keuzes in bosbeheer worden altijd gemaakt onder grote onzekerheden. Keuzes die nu gemaakt worden hebben immers gevolgen voor de bosontwikkeling voor de komende 100 jaar. Niemand kan voorzien wat de eisen van de samenleving zijn tegen die tijd.

Klimaatverandering brengt vooral een extra onzekerheid met zich mee voor de bosbeheerder.

De bosbouwsector in Nederland zal voorbereid moeten zijn op: veranderde groei en onderlinge dynamiek van boomsoorten (zie Figuur 3), toenemende kans op insectenplagen, en een toenemende kans op storm en brand (zie quickscan #1 voor financiële consequenties). De financiële situatie van de Nederlandse boseigenaar zal mogelijk verder verslechteren. Een kwantificering daarvan is echter op basis van de huidige kennis niet te geven.

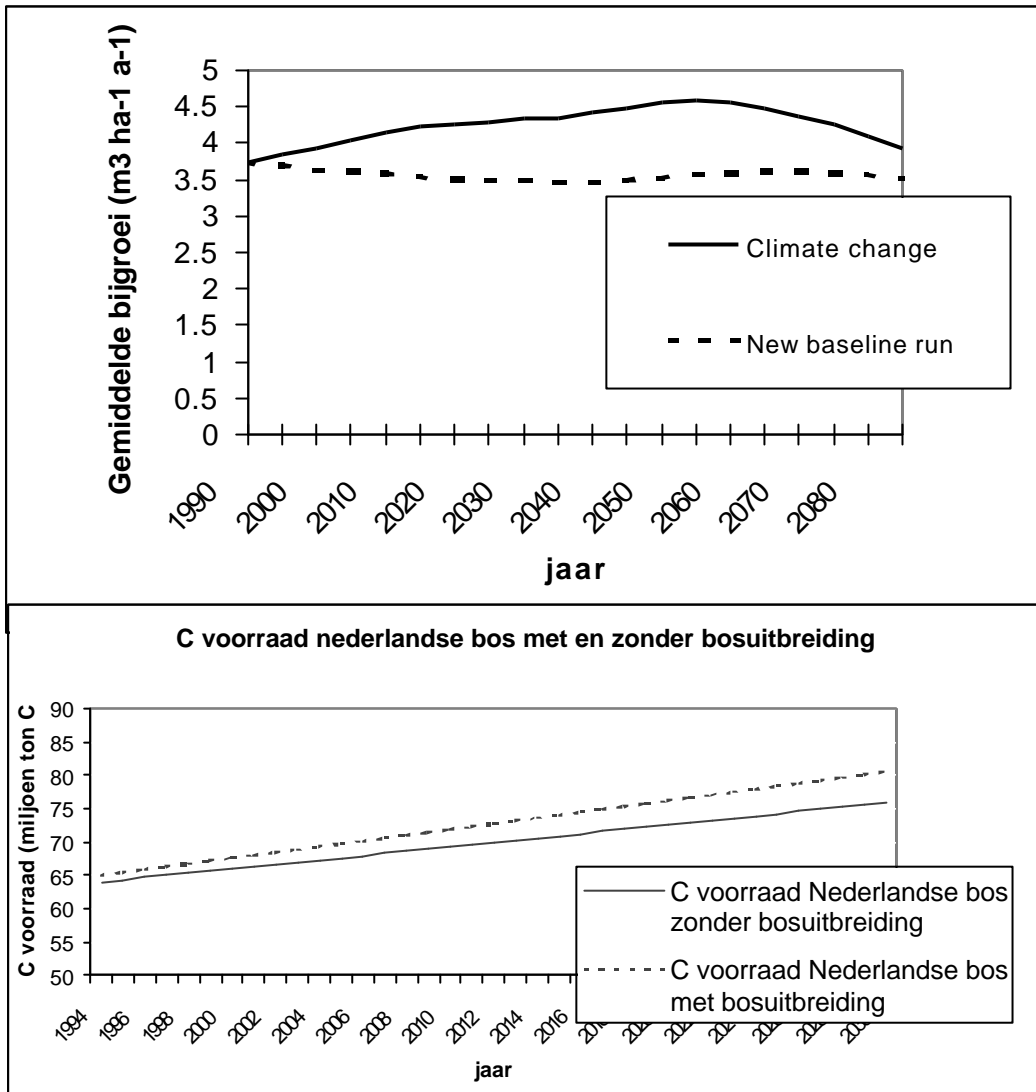
Het is voor het beheer onder deze onzekere klimaatomstandigheden belangrijk de volgende maatregelen in acht te nemen:

1. Maak zoveel mogelijk gebruik van de spontane processen zoals die optreden in het bos.
2. Maak gebruik van natuurlijke verjonging
3. Streef naar mengingen zodat insectenplagen en stormen minder kans maken;
4. Zorg voor een gezond bos ecosysteem (voorkom of bestrijdt dus andere verzwakkende factoren);
5. Terughoudend zijn met de aanplant van droogtegevoelige soorten zoals fijnspar en Douglas-spar. In het licht van de te verwachten klimaatverandering is het twijfelachtig of voor deze soorten nog een rol van betekenis is weggelegd in het Nederlandse bos.
6. Waar mogelijk tegengaan van effecten van verdroging door zolang mogelijk het water in the systeem te houden.

Monitoring is van belang om tijdig en ter plekke veranderingen in het bosesysteem waar te nemen. Informatie uit die monitoring kan dan direct worden gebruikt om het beheer aan te passen. De monitoring bestaat uit:

1. Monitoren van vitaliteit en groei van de bomen
2. Monitoren van de soortensamenstelling van de ondergroei
3. Monitoren van vorstschade
4. Monitoren van schimmelziekten en insecten

Voor Europa wordt op lange termijn verwacht dat de gevolgen van klimaatverandering het meest merkbaar zullen zijn in de noordelijke boreale streken en in het Mediterrane gebied. In de boreale streken zal klimaatverandering vooral lijden tot een groeitoename en verschuiving naar meer loofbos. In het Mediterrane gebied zal de kans op droogte en bosbranden toenemen. Het is onduidelijk hoe deze ontwikkelingen de Europese houtmarkt zullen beïnvloeden. Grootschalige sterfte en dus uiteindelijk een hout tekort lijkt niet erg waarschijnlijk. Dit omdat in het intensief beheerde Europese bos de beheerder snel zal inspringen op veranderingen.



Figuur 3. Gemiddelde bijgroei van het nationale bos van een Europees land zoals gesimuleerd met het European Forest Information Scenario (EFISCEN) model. Informatie uit gedetailleerde procesmodellen is hierin ingebouwd. EFISCEN laat zien dat de verhoogde groei wordt vastgehouden tot ongeveer 2060. Daarna zijn de staande voorraden zo hoog (oogstniveaus als onder huidig klimaat) dat de natuurlijke sterfte begint toe te nemen. EFISCEN laat hier de potentiële mogelijkheden van een verhoogde oogst onder klimaatverandering zien. De gemiddelde nationale bijgroei van het Nederlandse bos bedroeg $8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$ in 1996.

Bosaanleg, C-vastlegging en Kyoto

Veel van het LNV beleid op het gebied van bos en natuur is gericht op herstel van de kwaliteit en omvang van de natuur. Klimaatverandering en het daaruit voortvloeiende Kyoto Protocol bieden uitstekende kansen voor versterking van dit beleid.

De emissie-reductiedoelstelling die in Kyoto is afgesproken kan namelijk ook bereikt worden via maatregelen in bossen en mogelijk ook landbouwbodems. Schattingen van bos-investeringen t.g.v. Kyoto lopen uiteen van 2 tot 40 miljard dollar wereldwijd! Ter

vergelijking: op dit moment wordt er ongeveer 1 miljard dollar per jaar geïnvesteerd in bosuitbreiding en bosherstel wereldwijd. Ook in de meest 'pessimistische' schattingen dus nog altijd een verdubbeling!

Hier liggen enorme mogelijkheden voor versterking van het Nederlandse LNV bosbeleid. Bijvoorbeeld op het gebied van verhoging van het aandeel binnenlands hout, verhoging van het gebruik van duurzaam geproduceerd hout, een meer natuurlijk bosbeheer met gemengde bossen, en totstandkoming van de Ecologisch Hoofdstructuur (EHS). Allemaal bestaand beleid dat past binnen maatregelen die vooruitlopen op de gevolgen van klimaatverandering.

Bos biedt goede mogelijkheden voor vastlegging van CO₂ uit de atmosfeer. Op dit moment is de netto jaarlijkse vastlegging in het Nederlandse bos 0,33 miljoen ton C. Per ha is dat bijna 1 Mg C. De mogelijkheden die Kyoto biedt (de waarde die CO₂ heeft gekregen door de invoering van de eco-tax bedraagt f172,- per ton C als de ecotax uitsluitend voor klimaat doeleinden zou zijn ingevoerd) biedt goede mogelijkheden ook de financiële positie van de boseigenaar te versterken en om te komen tot versnelde bosaanleg. Aangezien elke kubieke meter netto bijgroei in het bos ongeveer 0,2 ton C vastlegt, houdt dit op deze wijze beschouwd in dat elke kubieke meter hout een hoeveelheid koolstof vastlegt ter waarde van bijna f35,-. Dit is dus een directe waardevermeerdering van hout. Omdat het Nederlandse bos een netto bijgroei kent van ongeveer 1.2 miljoen kubieke meter, levert dit landelijk een jaarlijks extra waardevermeerdering op van f42 miljoen. Extra bosaanleg kan duidelijke positieve neveneffecten hebben in termen van recreatieve waarde, landschap, en verhoging biodiversiteit. Echter dan moet een zorgvuldige afweging plaatsvinden van type bos, en bijvoorbeeld schaal van aanleg. Ook moeten de mogelijke win-win situaties volledig worden benut. Te denken valt dan aan rood voor groen, water buffering, geschikte locaties EHS e.d.

4.4 Conclusies

De raakvlakken met de andere beleidsterreinen pleiten voor een integrale benadering van het landelijk gebied en het daarin betrekken van de diverse mogelijkheden om de netto-uitstoot van broeikasgassen te beperken. Het is daarom van groot belang het onderzoek naar de herstructurering van de Nederlandse landbouw en een duurzame inrichting van het landelijk gebied te verrichten met het oog op de mogelijkheden om de emissies van broeikasgassen te beperken.

5. Haalbaarheid van Kyoto doelstellingen

De haalbaarheid van de Nederlandse doelstelling in het kader van Kyoto is op dit moment niet eenvoudig te beoordelen. De taakstelling voor de binnen Nederland te behalen emissiereducties lijkt ambitieus, maar niet onmogelijk als werkelijk een sterke beleidsintensivering tot stand wordt gebracht. De economische groei is hoog: dit leidt enerzijds tot een toename van emissies, maar biedt ook de financiële ruimte, zowel bij overheid, bedrijven als gezinnen om extra investeringen en uitgaven voor emissiereductie tot stand te brengen.

Ook zal blijken dat de technologische ontwikkeling in de richting van milieuvriendelijke en energie-efficiënte technieken onder invloed van het beleid zal worden bevorderd en dat omvangrijke kostenreducties mogelijk zijn op basis van leereffecten. Recent onderzoek van de Environmental Economics Group van Wageningen Universiteit en het RIVM heeft aangetoond dat van een groot aantal milieumaatregelen de kosten met ca 30-60% kunnen dalen in de eerste 6 à 7 jaar na de introductie ervan (de Vries et al, 1999). De geanticiperde kosten van het milieubeleid zijn daarom in het verleden dikwijls veel te hoog ingeschat.

De kosten van het voorgenomen beleid vallen macro-economisch gezien erg mee en er zijn in het bijzonder op het gebied van energiebesparing en bij maatregelen in de verkeerssector omvangrijke kostenbesparingen te bereiken. Ook de positieve neveneffecten voor andere beleidsterreinen zijn omvangrijk, zoals reductie van emissies van verzurende en eutrofiërende stoffen en fijn stof.

In het algemeen ziet het ernaar uit dat de doelstellingen voor de Nederlandse landbouwsector haalbaar zijn, mede in het licht van de voorgestelde herstructurering van de veestapel. Voor de overige Nederlandse doelgroepen lijkt het moeilijker de doelstellingen te halen, omdat een sterke economische groei leidt tot hoger energieverbruik en de bijdrage van duurzame energie slechts moeizaam tot stand komt. Het is denkbaar dat ondergrondse opslag van CO₂ in de periode 2000-2010 een bescheiden bijdrage kan bieden bij het bereiken van de binnenlandse doelstellingen.

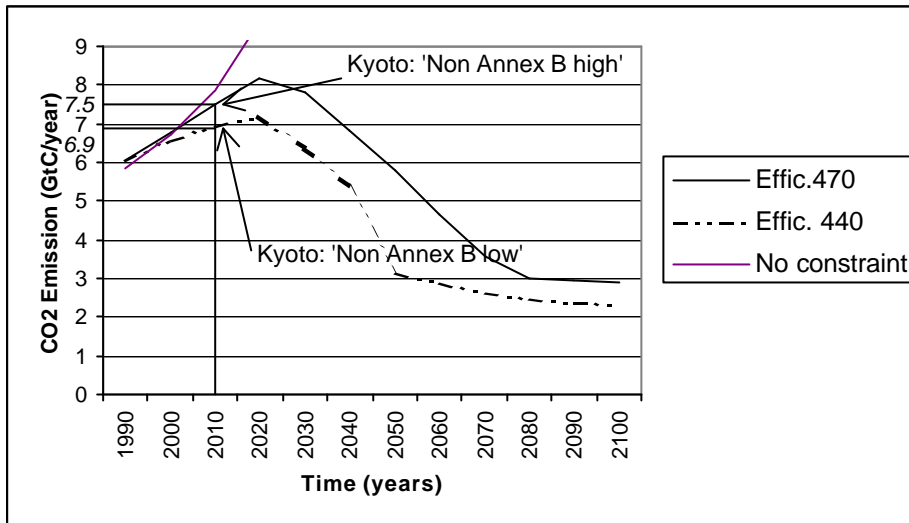
De mogelijkheid om de doelstellingen te halen voor de in het buitenland te bereiken emissiereductie door middel van CDM zijn nog moeilijk aan te geven omdat de concrete plannen pas tegen het eind van het jaar worden verwacht. Het is echter wel duidelijk dat in het buitenland zeer aantrekkelijke en goedkope mogelijkheden bestaan voor emissiereductie van broeikasgassen, vergeleken met een bepaalde autonome ontwikkeling (de zogenaamde baseline). Aanleg van parken voor windenergie, toepassing van zonne-energie in de tropen, tegengaan van ontbossing, herbebossing en het verhogen van het gehalte van organisch materiaal in bodems kunnen goede mogelijkheden bieden tegen relatief lage kosten.

De periode na 2010

Het beleid dient alvast te anticiperen op emissiereducties na het jaar 2010. Als afspraken gemaakt in het Kyoto protocol deel uitmaken van lange termijn kosten-effectieve *timing* van stabilisatie van CO₂ concentraties, dan is te verwachten dat na 2010 de mondiale emissies nog wel zullen stijgen, maar na 2020 zullen dalen zie Figuur 4. Omdat na het jaar 2010 het verschil met emissies uit het business as usual scenario steeds groter wordt zullen er sterke emissiereductiemaatregelen moeten worden genomen na 2010 (Mensink en Hoekstra, 1999; zie ook Hoekstra en Ruijgrok, 1999).

Als afspraken gemaakt in het Kyoto protocol deel uitmaken van lange termijn kosten-effectieve *timing* van stabilisatie van mondiale CO₂ concentraties zal dat resulteren in een stabilisatie *niveau* dat ver onder het niveau ligt van wat Nordhaus en Manne & Richels beschouwen als een kostenefficiënte afweging tussen klimaatschade en emissiereductiekosten (Nordhaus and Yang, 1996; Manne and Richels, 1995 and 1999; Manne and Rutherford, 1994a and 1994b).

Stabilisatie tussen 450 en 550 ppmv in 2100 lijkt gewenst. Dit impliceert emissiereductie in de orde van grootte van 50-75% ten opzichte van 1990. Een transitie naar een koolstofarme economie is daarom gewenst. Zon, wind, aardwarmte, getijde energie, waterkracht, biomassa en omzetting van waterstof onder invloed van zonne-energie zijn de lange termijn opties, in combinatie met energiebesparing, opslag van CO₂ en emissiereductie van overige broeikasgassen.



Figuur 4: De Kyotodoelstellingen ten opzichte van "efficiënte emissiereductiepaden volgens het MERGE model. Toelichting: Effic.470 betekent stabilisatie op 470 ppmv volgens een efficiënt pad; Effic. 440 betekent stabilisatie op 440 ppmv volgens een efficiënt pad; no constraint geeft de ontwikkeling van de emissies weer tot 2020, zonder Kyoto beleid. Bron: Mensink en Hoekstra, 1999.

6. Flexibele instrumenten: emissieplafonds, verhandelbare reductiecertificaten

De Nederlandse doelstellingen kunnen worden behaald door toepassing van flexibele instrumenten. Joint implementation (JI) en Emission Trading (ET) kunnen alleen tussen Annex I landen plaats vinden en resultaten kunnen pas vanaf 2010 worden meegerekend in de te bereiken emissiereductiedoelstellingen. CDM kan met ontwikkelingslanden worden uitgevoerd en de behaalde emissiereducties kunnen vanaf 2000 worden meegerekend.

De uitwerking van de toepassing van de flexibele instrumenten vindt nog plaats en concrete afspraken over maximale toepassing en toekenning van credits moet nog plaats vinden. Meer duidelijkheid ontstaat na de 6de Conferentie van Partijen.

De voordelen van flexibele instrumenten zijn evident, zowel binnen Nederland als in een internationaal systeem. Het leidt ertoe dat de emissiereductie tegen de geringste maatschappelijke kosten kan plaats vinden, dat technologische vernieuwing wordt gestimuleerd en er komen extra middelen beschikbaar voor ontwikkelingslanden voor duurzame energie, energiebesparing, efficiencyverbetering en bevorderen of in stand houden van sinks.

Bij een systeem van verhandelbare emissierechten, liggen de problemen bij het toekennen van de rechten, het monitoren van de emissies en de fixatie van broeikasgassen en de controle op naleving. Ook is het moeilijk om een goede baseline vast te stellen en te bepalen welke projecten voor creditering in aanmerking komen. Bovendien bestaat het gevaar dat de gunstige werking van projecten teniet wordt gedaan, bijvoorbeeld door extra kappen van bossen op plaatsen die niet in de projecten zijn opgenomen, zodat per saldo geen extra koolstof wordt vastgelegd.

Een analyse van de mogelijkheden van verhandelbare rechten vindt in Nederland plaats door een interdepartementale commissie die zich moet buigen over de uitwerking en de haalbaarheid en de afstemming met de internationale ontwikkelingen en zeer recentelijk is de Tweede kamer geïnformeerd over de Nederlandse beleidsvoornemens.

Suggesties

- Zwaar inzetten op verhandelbare rechten; plafonds vast stellen voor sectoren en daarna de sectoren zelf laten bepalen met wie de handel plaats vindt, maar wel binnen duidelijke grenzen zodat ook in ieder geval een gedeelte van de doelstelling door de betreffende sector zelf wordt behaald en een passend gedeelte in Nederland.
- Probleem bij het vast stellen van de plafonds is aan wie de taakstelling precies wordt opgedragen en hoe een taakstelling voor individuele bedrijven tot stand kan worden gebracht en hoe moet worden omgegaan met zich nieuw vestigende bedrijven.
- Op de langere termijn: Verdere toekenning van rechten en geheel vrije verhandelbaarheid bevorderen; restricties op handel leiden in principe tot een minder efficiënte allocatie.
- Het ziet ernaar uit dat in het buitenland goedkope emissiereductiemogelijkheden aanwezig zijn, ook in de vorm van duurzame energie. Het is niet logisch om in Nederland zeer dure maatregelen te gaan toepassen terwijl in het buitenland goedkope mogelijkheden beschikbaar zijn. Dit is vooral voor de periode na 2010 van belang als de goedkope mogelijkheden in Nederland zijn benut en naar verwachting verder gaande emissiereductie noodzakelijk is.
- Er bestaat grote onzekerheid over de kosten van de verschillende nieuwe technologieën en de ontwikkeling daarin. Niemand kan precies voorspellen voor welke technieken grote kostendalingen gaan optreden. Wat dat betreft is dus ook grote flexibiliteit vereist en zal moeten blijken welke technische oplossingen uiteindelijk goedkoop zullen zijn. De overheid kan het ontwikkelen van technologie stimuleren middels het stimuleren van onderzoek e.d. Het lijkt echter niet raadzaam om dure technologie op grote schaal te subsidiëren als er goedkopere mogelijkheden zijn om de milieudoelstellingen te behalen.

Specifieke onderzoeksvragen voor de landbouwsector:

- Welke hoeveelheid emissierechten zou aan de landbouwsector moeten worden toegekend?
- Welke systeem van rechten toekenning zou tot de beste resultaten leiden en aan welke organisatorische eenheden kunnen de rechten worden toegekend? Overkoepelende organisaties? Individuele bedrijven?
- In welke orde van grootte liggen de vermogenstoekenningen die hiermee gepaard gaan en wat zijn daarvan de gevolgen voor de vermogenspositie van de betreffende sector en de betrokken bedrijven?
- Hoe kunnen emissiereducties worden geregistreerd en hoe worden de voordelen van warmtekrachtkoppeling toegerekend aan de sectoren die daarbij zijn betrokken (bijvoorbeeld elektriciteitssector en glastuinbouw) ?

7. Discussie en conclusies

7.1 Externe effecten in het algemeen

Voor een zo goed mogelijke keuze van technieken en brandstoffen voor het verminderen van netto emissies van broeikasgassen is het van groot belang om alle externe effecten (positieve en negatieve!) in de prijs van de alternatieven tot uitdrukking te brengen. Als dat is gebeurd, kan de markt vervolgens op basis van prijzen de keuze tussen de betreffende alternatieven maken. Onderzoek naar *alle* relevante externe effecten van de verschillende beleidsopties is daarom essentieel.

Het is van het grootste belang de diverse technieken middels LCA en het meerekenen van de overige milieu-effecten te vergelijken zodat een goede toerekening van externe effecten plaats vindt.

Welke technieken uiteindelijk een belangrijke bijdrage kunnen leveren hangt af van de technologische ontwikkeling, de schaalvoordelen en de leertrajecten die worden afgelegd bij het komen tot de introductie van nieuwe technieken.

7.2 Verhandelbare rechten en flexibele instrumenten

Het verdient aanbeveling zwaar in te zetten op verhandelbare rechten; plafonds vast te stellen voor sectoren en daarna de sectoren zelf laten bepalen met wie de handel plaats vindt. Daarbij kunnen wel grenzen worden gesteld, zodat ook in ieder geval een gedeelte van de doelstelling door de betreffende sector zelf wordt behaald en een passend gedeelte in Nederland.

Probleem bij het vast stellen van de plafonds is aan wie de taakstelling precies wordt opgedragen en hoe een taakstelling voor individuele bedrijven tot stand kan worden gebracht en hoe moet worden omgegaan met zich nieuw vestigende bedrijven.

Op de langere termijn: Verdere toekenning van rechten en geheel vrije verhandelbaarheid bevorderen; restricties op handel leiden in principe tot een minder efficiënte allocatie. Dit geldt ook voor de beperking dat minstens 50% in Nederland gerealiseerd zal worden.

Het ziet ernaar uit dat in het buitenland goedkope emissiereductiemogelijkheden aanwezig zijn, ook in de vorm van duurzame energie. Het is niet logisch om in Nederland zeer dure maatregelen te gaan toepassen terwijl in het buitenland goedkope mogelijkheden beschikbaar zijn. Dit is vooral voor de periode na 2010 van belang als de goedkope mogelijkheden in Nederland zijn benut en naar verwachting verder gaande emissiereductie noodzakelijk is.

7.3 Biomassa

Omdat de ontwikkeling van duurzame stromingsenergie vrij langzaam gaat zal naar verwachting ook energie uit biomassa een rol gaan spelen, zowel in de electriciteitsopwekking als bij het vormen van vloeibare brandstoffen uit restmaterialen uit land- en tuin- en bosbouw. In de VS is een uitvoerig programma hiertoe gestart.

De mogelijkheden van biomassa zijn mede afhankelijk van de energieprijzen, de prijsontwikkeling van landbouwproducten en de grondprijzen. Biomassa is daarom een mogelijke optie voor landen waar grond ruim beschikbaar is. In Nederland lijken de grondkosten te hoog om zeer omvangrijke bijdragen van energiegewassen te kunnen verwachten. De ontwikkelingen in het EU landbouwbeleid, de subsidies op energiegewassen en de CO₂ heffingen of de prijs van verhandelbare rechten zijn daarbij doorslaggevend.

7.4 De Nederlandse landbouw

Zeer omvangrijke inspanningen zullen nationaal en internationaal nodig zijn, op bijna alle terreinen waar emissiereductie kan worden bevorderd. De Nederlandse landbouw sector doet er goed aan hierop te anticiperen.

De effecten van het Nederlandse en het EU landbouwbeleid op de emissies van de landbouwsector tot het jaar 2010 zullen omvangrijk zijn vanwege de herstructurering van de Nederlandse landbouw en de beoogde vermindering van de veestapel met het oog op de nitraatproblematiek, de verzuring en het dierenwelzijn. Dit beleid heeft omvangrijke neveneffecten voor het klimaatbeleid, maar de samenhang is niet altijd duidelijk, bijvoorbeeld voor de reductiemaatregelen van NH₃ en N₂O.

De effecten van het klimaatbeleid op de Nederlandse glastuinbouw zijn naar verwachting niet zeer omvangrijk, zeker niet als de olieprijs laag is. Het wordt problematisch als de olieprijs verder blijft stijgen en de concurrentie vanuit Oost Europa, de landen rond de Middellandse zee en de ontwikkelingslanden sterker wordt. De concurrentiepositie van de Nederlandse glastuinbouw houdt vooral verband met de loonkostenontwikkeling in de

ontwikkelingslanden en de kwaliteit van de in die landen geproduceerde producten. Als de inkomens in Oost Europa en de ontwikkelingslanden sterk gaan stijgen versterkt dat de positie van de Nederlandse landbouw, maar die situatie lijkt nog ver van ons verwijderd.

Meer onderzoek naar de kosteneffectiviteit van verschillende beleidsopties voor de Nederlandse landbouw is dringend gewenst. In aansluiting op het ROB en de lopende onderzoeken naar opties voor CO₂ emissiereductie zou een programma moeten worden ontwikkeld om de kosteneffectiviteit en de economische effecten van maatregelen in de Nederlandse landbouwsector in meer detail te bepalen.

Sinks in Nederland

De mogelijkheden van sinks in de landbouwsector in Nederland moeten nog nader worden bekeken. Hoewel Nederland relatief klein is kunnen sinks een bijdrage leveren aan het behalen van de Nederlandse doelstellingen. Bekeken moet worden wat de diverse opties zijn voor CO₂, vermindering van N₂O en CH₄ door verandering in management en landgebruik en welke kosten daaraan zijn verbonden. Te denken valt aan toename organisch materiaal in de bodem, wijzigingen in watermanagement en wetlands, gewijzigd kunstmestgebruik en bosbouw.

Sinks in het buitenland

De mogelijkheden voor het ontwikkelen van sinks in het buitenland zijn oneindig groot vergeleken bij de Nederlandse opties. Met het oog op de lange termijn is het van groot belang te verkennen welke goede en goedkope opties er zijn om de sink functies in het buitenland te versterken en welke positieve neveneffecten daarvan uitgaan op andere beleidsterreinen (tegengaan ontbossing, herbebossing, verbeteren bodemstructuur, tegen gaan van erosie e.d.) en welke directe en indirecte kosten er aan zijn verbonden. Daartoe is het van groot belang in detail mogelijke projecten te selecteren die voor het clean development mechanism in aanmerking komen.

7.5 De periode na 2010

Voor de periode na 2010 liggen zeer omvangrijke emissiebeperkingen in het verschiet, zoals o.a. werd geïllustreerd in Figuur 4.

Als afspraken gemaakt in het Kyoto protocol deel uitmaken van lange termijn kosten-effectieve *timing* van stabilisatie van global CO₂ emissie concentraties, dan is te verwachten dat na 2010 global emissions nog wel zullen stijgen, maar na 2020 zullen dalen (zie Figuur 4). Omdat het verschil met emissies uit het business as usual scenario steeds groter wordt na 2010 zullen er sterke emissiereductiemaatregelen moeten worden genomen na 2010 (Mensink en Hoekstra, 1999).

Als afspraken gemaakt in het Kyoto protocol deel uitmaken van lange termijn kosten-effectieve *timing* van stabilisatie van global CO₂ emissie concentraties zal dat resulteren in een stabilisatie *niveau* dat ver onder het niveau ligt van wat Nordhaus en Manne & Richels beschouwen als een kostenefficiënte afweging tussen klimaatschade en emissiereductiekosten (Nordhaus en Yang, 1996; Manne and Richels, 1995).

Stabilisatie tussen 450 en 550 ppmv in 2100 lijkt gewenst. Dit impliceert emissiereductie in de orde van grootte van 50-75% ten opzichte van 1990. Een transitie naar een koolstofarme economie is daarom gewenst. Zon, wind, aardwarmte, getijde energie, waterkracht, biomassa en omzetting van waterstof onder invloed van zonne-energie zijn de lange termijn opties, in combinatie met opslag van CO₂.

7.6 Voorlopige conclusies

7.6.1 Wat zijn de mogelijkheden voor verdergaande emissiereductie maatregelen voor de verschillende sectoren van LNV?

Mogelijkheden voor emissiereductie

- Tuinbouw, verdergaande toepassing van het gebruik van afvalwarmte en warmtekrachtkoppeling, betere kasisolatie, gebruik van CO₂ uit de industrie, o.a. door meer buffercapaciteit.
- Akkerbouw, beperking N₂O emissies, bevorderen van opslag organisch materiaal in bodem, verhogen productie van biomassa? Ontwikkeling van efficiëntere transportsystemen?
- Veehouderij, beperking van CH₄ en N₂O emissies door aanpassing veestapel, mestvergisting en terugwinning biogas. Tegengaan van bodemdaling in veenweide gebied.

Deze maatregelen worden al snel erg duur als het gaat om extra maatregelen boven die in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid. Andere beleidsopties, zoals ondergrondse opslag kunnen aantrekkelijker zijn.

Meer in het algemeen bestaan er reductiemogelijkheden door een integrale benadering van het landelijk gebied, waarbij de herstructurering van de Nederlandse landbouw, het bos- en natuurbeleid, de waterhuishouding en de recreatieve mogelijkheden van het landelijk gebied in hun onderlinge samenhang worden bestudeerd. Door middel van verkenningen kan worden nagegaan waar goede kansen liggen voor oplossingen die bijdragen aan diverse beleidsterreinen.

7.6.2 Wat zijn de mogelijke effecten?

Effecten:

- Tuinbouw. Bij een hoge energieprijs zijn de mogelijkheden voor een stringent klimaatbeleid in de glastuinbouw beperkt. De sector is niet erg sterk en kampt met structurele problemen. Energiebesparing wordt overigens aantrekkelijker naarmate de energieprijs hoger is.
- Akkerbouw. Het EU landbouwbeleid is voor de langere termijn niet erg gunstig voor de akkerbouw. De teelt van biomassa kan bij gewijzigde subsidiestromen aantrekkelijk worden vanuit privaat economisch perspectief. Omvangrijke subsidiebedragen zijn nodig, indien zou worden besloten om de teelt van biomassa in Nederland te bevorderen.
- Veehouderij. De veehouderij wordt op vele fronten bedreigd, namelijk vanwege dierziekten, mestoverschotten en een omvangrijke bijdrage aan de broeikasgasemissies. Niet alleen de primaire sector komt daarmee in het gedrang, maar ook de toeleverende, de verwerkende industrie en de daaraan verbonden transportstromen.

Als het principe de vervuiler betaalt wordt toegepast op de landbouwsector zijn zeer ingrijpende wijzigingen te verwachten. Het is van groot belang te zorgen voor een goed tempo van deze aanpassingen en voor een uitgebreid kader voor omscholing en bedrijfsbeëindiging.

7.6.3 Wat zijn de kansen en bedreigingen?

Kansen voor de Nederlandse landbouw zijn gelegen in het ontwikkelen van een landbouwsector die energie-efficiënt is en die optimaal gebruik maakt van de mogelijkheden om biogas terug te winnen uit mest en organische afvalstoffen. Op kleine schaal kan het opwekken van elektriciteit uit biomassa een bijdrage leveren, maar Nederland is te klein en de grondprijzen zijn te hoog om dit bij de gegeven energieprijzen op grote schaal te doen. Het gebruiken van CO₂ uit de industrie in de glastuinbouw is een aantrekkelijke optie, evenals het verder introduceren van warmtekrachtkoppeling en gebruik van restwarmte in de glastuinbouw.

Een bedreiging voor de landbouwsector vormt het risico dat van de sector een meer dan proportionele inspanning wordt verwacht voor emissiereductie in termen van de kosten van de maatregelen, afgemeten aan de directe en indirecte economische effecten. Als ondergrondse opslag van CO₂ inderdaad goed toepasbaar is tegen lage kosten per ton vermeden CO₂, zoals door Lenstra (1999) betoogd, dan is het wellicht beter om van deze optie gebruik te maken in plaats van dure maatregelen in de landbouwsector. Opslag van CO₂ zou echter wel eens duurder kunnen zijn dan door Lenstra betoogd.

Over de effecten van het voorgestelde maatregelen pakket op de Nederlandse landbouw sector is nog weinig bekend. De gevolgen van het klimaatbeleid, in samenhang met de recentelijk voorgestelde herstructurering en de voorgestelde herziening van het EU landbouwbeleid, kunnen zeer omvangrijk zijn en leiden tot verlies van werkgelegenheid in de primaire sector, de verwerkende industrie en de aan de landbouw verbonden transportactiviteiten.

Bijdrage van sinks in Nederland

In Nederland kunnen sinks tot ontwikkeling worden gebracht. Dit is over het algemeen duur als het alleen om het klimaatbeleid zou gaan, maar in combinatie met andere doelstellingen, zoals bos- en natuurbehoud, tegengaan van bodemdaling in de veengebieden, tegengaan van verdroging en recreatiedoelstellingen, kan het een aantrekkelijke optie zijn. Het toedelen van de kosten van maatregelen aan de diverse functies van het landelijk gebied vormt hierbij een aparte vraagstelling.

In het buitenland kunnen zeer omvangrijke sinks tot ontwikkeling worden gebracht tegen lage kosten. Het is aan te bevelen op grote schaal van deze mogelijkheden gebruik te maken, maar er moeten voldoende garanties zijn dat de projecten niet leiden tot extra emissies op andere locaties, bijvoorbeeld door het versneld ontbossen van gebieden buiten het CDM project.

7.7 Tot slot

Het verdient sterk aanbeveling om in te zetten op het gebruik van flexibele instrumenten en op termijn te streven naar vrij verhandelbare CO₂ emissierechten, in eerste instantie nationaal, maar uiteindelijk internationaal. In principe is het nu bekend hoeveel broeikasgassen Nederland in 2010 mag emitteren volgens de afspraken van Kyoto. Dus een plafond is vastgelegd. De verdeling over sectoren, bedrijven en individuen is echter problematisch, evenals het meten en of berekenen van de emissies en het vast leggen van CO₂.

Voor de korte termijn lijkt het niet mogelijk om flexibele instrumenten volledig in te zetten. Het is aan te bevelen om voor de Nederlandse emissiereductie zoveel mogelijk flexibiliteit in te bouwen, bijvoorbeeld door uitwisselbare emissiereductie-verplichtingen voor sectoren, kostenverevening, groenlabels e.d.. Het ligt wel voor de hand om in internationaal verband gebruik te maken van het CDM om vanaf het jaar 2000 een deel van de reductiedoelstelling in het buitenland te behalen, zoals ook wordt beoogd in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid. Voor de periode na 2010 lijkt die optie ook erg aantrekkelijk omdat in Nederland relatief dure opties moeten worden ingezet, terwijl in het buitenland goedkope mogelijkheden beschikbaar zijn. Het is daarom denkbaar dat na 2010 een groter gedeelte van de dan geldende inspanningen in het buitenland wordt behaald, dus meer dan de 50% die thans is voorzien voor de periode 2000-2010.

Referenties

- Alcamo, J., Shaw, R.W., and Hordijk, L. (eds), (1990) *The RAINS model of acidification; science and strategies in Europe*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Amann, M., Bertok, I., Cofala, J., Gyarfas, F., Heyes, C., Klimont, Z., Makowski, M., Schöpp, W., and Syri, S. (1999) *Sensitivity analyses for a central scenario to control acidification, eutrophication and ground-level ozone in Europe*. IIASA, Laxenburg, Austria.
- Bleken, M.A. 1997. *Food consumption and nitrogen losses from agriculture*. In: J. Lag (ed). Some geomedical consequences of nitrogen circulation processes. Proceedings. The Norwegian Academy of Science and Letters.
- Bouwman, A.F. (1996) Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 46, 53-70.
- Brink, C.J. en C. Kroeze, 1999, Impact of ammonia abatement on greenhouse gas emissions in Europe, draft, Wageningen University, Wageningen.
- Brouwer, F.M. en C. van Bruchem (Red.) (1998). *Landbouw, milieu en economie*: Editie 1998. Den Haag, Landbouw-Economisch Instituut, Rapport 6.98.97.
- De Lange, T.J. and A.W.N. Van Dril, 1998. *Mogelijkheden voor toepassing van hernieuwbare energie in de glastuinbouw 1995-2010*. ECN i.s.m. LEI-DLO.
- Eker M. W. Elbersen, B. de Klerk, R. de Koning, N. van der Windt, A. Wintjes, (1999) "Switch on!" Staring centrum, DLO.
- Elbersen (1999), ATO-DLO, Personal communication
- Faaij, A., Meuleman, B., Wijk, A.v., Turkenburg, W., Bauen, A., Rosillo-Calle, F., and Hall, D. (1999). Externalities of biomass based electricity production compared to power generation from coal in the Netherlands. *Biomass and Bioenergy*, (In Press)
- Faaij, Andre, 1997, *Energy from Biomass and Waste*, University of Utrecht, Utrecht, The Netherlands.
- Graham, Robin L. and Allison, Linda J. and Becker, Denny A., 1996, *The Oak Ridge Energy Crop County Level database*, Environmental Sciences Division, Bioenergy Feedstock Development Program, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee
- Hall, D. O., 1997, Biomass Energy in Industrialised Countries - A View of the Future, *Forest Ecology and Management*, volume 91, pages 17-45.
- Hoekstra, J. and Ruijgrok, W., 1999, *Dialogue. An integrated assessment model for climate change*. (UnPub)
- Ierland, E.C.van, Klaassen, M.G., Nierop, T., and Wusten, H.v.d., 1996, *Climate change: Socio-economic impacts and violent conflict*, NOP rapport, NOP, Bilthoven.
- IPCC (1997) *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. OECD, Paris.
- Jager, David de, Faaij, A. P. C. and Troelstra, W. P., 1998, *Kosten-Effectiviteit van transportbrandstoffen uit biomassa*, Novem Utrecht.
- Klaassen, G., (1991) *Costs of Controlling Ammonia Emissions in Europe*. IIASA, Laxenburg, Austria.
- Kroeze C. and A. Mosier (in press). *New estimates for emissions of nitrous oxide*. In: Proceedings of the 2nd International Symposium on non_CO2 Greenhouse Gases, 8-10 September 1999, Noordwijkerhout, The Netherlands.
- Lenstra, W.J. , 1999, Lage energieprijzen, ander klimaatbeleid, *Economisch Statistische Berichten*, september 1999, pg 660-665.
- Manne, A. and Richels, R. Buying Greenhouse Insurance: The economic costs of carbon dioxide emission limits. *Policy Perspectives*.
- Manne, A. and Richels, R., On Stabilizing CO₂ concentrations - cost-effective emission reduction strategies. (1999).
- Manne, A. and Rutherford, T.F., 1994a, International Trade in Oil, Gas and Carbon Emission Rights: An intertemporal General Equilibrium Model. *The energy journal*, 1: (1994). pp. 57-77.
- Manne, A. and Rutherford, T.F., 1994b, International trade, capital flows and sectoral analysis: Formulation and solution of intertemporal equilibrium models. *New directions in computational economics* (1994). pp. 191-205
- Manne, Alan and Richels, Richard, 1995, The Greenhouse Debate: Economic Efficiency, Burden Sharing and Hedging Strategies, *The Energy Journal*, volume 16, number 4, pages 1-37.

- Meeusen (1999), LEI-DLO, Personal communication.
- Mensink, P. and J. Hoekstra, 1999 "Kyoto etc." Draft, Environmental Economics Group, Wageningen University, Wageningen The Netherlands.
- Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S., and Van Cleemput, O. (1998) Closing the Global N₂O Budget: Nitrous Oxide Emissions Through the Agricultural Nitrogen Cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52, 225-248.
- Mosier A.R., J.M. Duxbury, J.R. Freney, O. Heinemeyer, and K. Minami, 1998a. *Assessing and mitigating N₂O emissions from agricultural soils*. *Climatic Change* 40: 7-38.
- Nordhaus, William D. and Yang, Zili, 1996. A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies, *The American Economic Review*, 86, number 4 September, pages 741-765,
- OECD (1998). *The implementation of the Kyoto protocol for the agricultural sector*. Paper prepared for the Joint Working Party of the Committee for Agriculture and the Environment Policy Committee. Parijs, Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO), COM/ENV/EPOC/AGR/CA(98)55.
- Oenema O., G. Gebauer, M. Rodriguez, A. Sapek, S.C. Jarvis, W.J. Corre and S. Yamulki, 1998. *Controlling nitrous oxide emissions from grassland livestock production systems*. *Nutrient Cycling in agroecosystems* 52: 141-149
- RIVM (1998). Milieubalans 1998: *Het Nederlandse milieu verklaard*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Bilthoven.
- Van der Velden, N.J.A. et al., 1997. *Energie in de glastuinbouw van Nederland. Ontwikkelingen in de sector en op de bedrijven t/m 1995*, LEI-DLO, 's Gravenhage.
- Van der Velden, N.J.A., 1996. *Potentiële penetratiegraden energiebesparende opties in de glastuinbouw. Een proeve van toepassing van het energiemodel*, LEI-DLO, 's Gravenhage.
- Velthof G.J, M.L. van Beusichem and O. Oenema (1998). Mitigation of nitrous oxide emissions from dairy farming systems. *Environmental Pollution* 102: 173-178.
- Velthof, G.L. and Oenema, O. (1997) Nitrous Oxide emission from dairy farming systems in the Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 45, 347-360.
- Vries, G. de, A.Hanemaaijer, S.Kruitwagen en E.C. van Ierland, 1999, *De ontwikkeling van de kosten van milieumaatregelen*, (concept), RIVM/Wageningen Universiteit.
- VROM, 1999. *Uitvoeringsnota Klimaatbeleid, deel I, Binnenlandse maatregelen*, VROM, Den Haag.
- Walsh, Marie E. and Graham, Robin, L. and De La Torre Ugarte, Daniel and Slinsky, Stephan and Ray, Daryll and Shapouri, Hosein, 1998, *Economic Analysis of Energy Crop production in the U.S. -- Location, Quantities, Price and Impacts on Traditional Agricultural Crops*, Paper presented at BioEnergy '98: Expanding Bioenergy Partnerships, Maddison, Wisconsin, October 4-8, 1998.
- Walsh, Marie E., Bioenergy Crop Economic Amanlyses 1998: Status and Needs, *Biomass and Bioenergy*, volume 14, number 4, pages 341-50
- White House, The (1999), *President Clinton and Vice President Gore: Growing Clean Energy for the 21st Century*. Press release, Office of the Pres Secretary.
- Williams, Robert H. and Larson, Eric, 1993, *Advanced Gasification-Based Biomass Power Generation* in: Johansson, Thomas B. and Kelly, Henry and Reddy, Amulya K. N. and Williams, Robert H., *Renewable Energy. Sources for Fuels and Electricity*, Earthscan , London, UK.

Bijlage A

