

# KLIMAATVERANDERING EN DE FUNCTIES VAN HET LANDELIJK GEBIED



**Resultaten van vier jaar klimaatonderzoek**  
in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

**Redactie** Ronald Hutjes

## inhoudsopgave

### 6 inleiding

### 8 thema 1

Koolstofvastlegging  
in bos en landbouw

### 22 thema 2

Emissies van lachgas  
en methaan uit de landbouw

### 36 thema 3

Landgebruik als actor en reactor  
in het klimaatsysteem

### 50 thema 4

Klimaatverandering en  
het landelijk gebied:  
een integrale kijk

### 65 conclusies

## voorwoord

De Natuurbalans 2003 geeft aan dat klimaatverandering steeds manifester wordt voor de functies van het landelijk gebied. Voor LNV is het van belang om adequaat te reageren op deze signalen. Onderzoek speelt daarbij een cruciale rol. De afgelopen vier jaar hebben veel resultaten van het LNV onderzoeksprogramma Klimaat direct hun weg gevonden naar internationale onderhandelingen, het formuleren van reductiemaatregelen en het ontwikkelen van visies. Zelf heb ik kunnen ervaren welke essentiële rol de cijfers speelden tijdens de COP-6 onderhandelingen over 'sinks' in Den Haag. Belangrijk is dat het onderzoeksprogramma niet op zich zelf staat. In een ideale wereld is de klimaatdimensie zelfs volledig geïntegreerd in beleidsontwikkeling, uitvoering en evaluatie. Zover is het nog niet. Met dit programma is wel geprobeerd de juiste verbanden te leggen, internationaal (IPCC), Europees (5e Kaderprogramma) en nationaal (Nationaal Onderzoeks Programma) en tenslotte binnen de DWK programmering. In het nieuwe klimaatprogramma zal dit ook een belangrijk aandachtspunt blijven.

Voor u ligt een dwarsdoorsnede van de onderzoeksresultaten. De onderzoeksvelden zijn divers. Dit heeft te maken met het feit dat het LNV domein zowel slachtoffer als veroorzaker van klimaatverandering is. Dit gegeven dwingt ons steeds niet eenzijdig te kijken, maar door de bril van duurzame ontwikkeling: people, planet, profit. De uitkomsten van dit onderzoek hebben het mogelijk gemaakt dit te realiseren.

**Hayo Haanstra**  
*Coordinator klimaatbeleid LNV*

31

## INLEIDING

We leven in een warmer wordende wereld. Een belangrijk deel van die opwarming is toe te schrijven aan menselijke invloeden, zoals toegenomen emissies van broeikasgassen. Het tweede assessment rapport van het IPCC in 1995, over de omvang, oorzaken en gevolgen van klimaatverandering, was nog betrekkelijk voorzichtig met deze conclusie. Desondanks kwam de politiek in Kyoto eind 1997 al tot vergaande afspraken om de oorzaken aan te pakken door het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen. Het derde assessment rapport van het IPCC in 2001 kon de conclusies over menselijk handelen als oorzaak van klimaatverandering veel stelliger poneren door een betere onderbouwing.

Tegen deze achtergrond werd in 1998 een nieuw onderzoeksprogramma geformuleerd rond aspecten van klimaatverandering die relevant zijn voor het beleids-terrein van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Het landelijk gebied en diverse agro-sectoren zijn belangrijke bronnen van broeikasgassen. Zij kunnen een rol spelen bij mitigatie van klimaatverandering, het terugdringen van emissies van broeikasgassen. Tegelijkertijd is het landelijk gebied gevoelig voor de gevolgen van klimaatverandering en zal beleid ontwikkeld moeten worden voor adaptatie aan klimaatverandering. Effectiviteit en kostenefficiëntie van adaptatie- en mitigatiebeleid zijn gebaat bij tijdige en goede afstemming met andere beleidsterreinen rond transities in milieu en natuur, en de productie, logistiek en verwerking in agrarische ketens.

Het resulterende onderzoeksprogramma 'Klimaatverandering en de functies van het landelijk gebied' (P344) was gestructureerd rond vier hoofdthema's. In het Kyoto protocol wordt de mogelijkheid geboden een deel van de overeengekomen emissiereducties te realiseren middels het vastleggen van koolstof in vooral bossen maar ook in landbouwbodems. Centraal in het eerste thema stond een beter begrip en kwantificering van de koolstofbalans op verschillende schaalniveau's in vooral bosecosystemen. Naast kooldioxide zijn methaan en lachgas twee belangrijke broeikasgassen. In Nederland is ruwweg 40% van beide afkomstig uit de landbouw, hoofdzakelijk gerelateerd aan dierlijke productie. In het tweede thema werd daarom vooral gewerkt aan begripsverbetering en kwantificering van lachgasemissies in relatie tot mestverwerking\*.

\* De emissie van methaan uit vooral melkveehouderij en mestopslag is ondergebracht

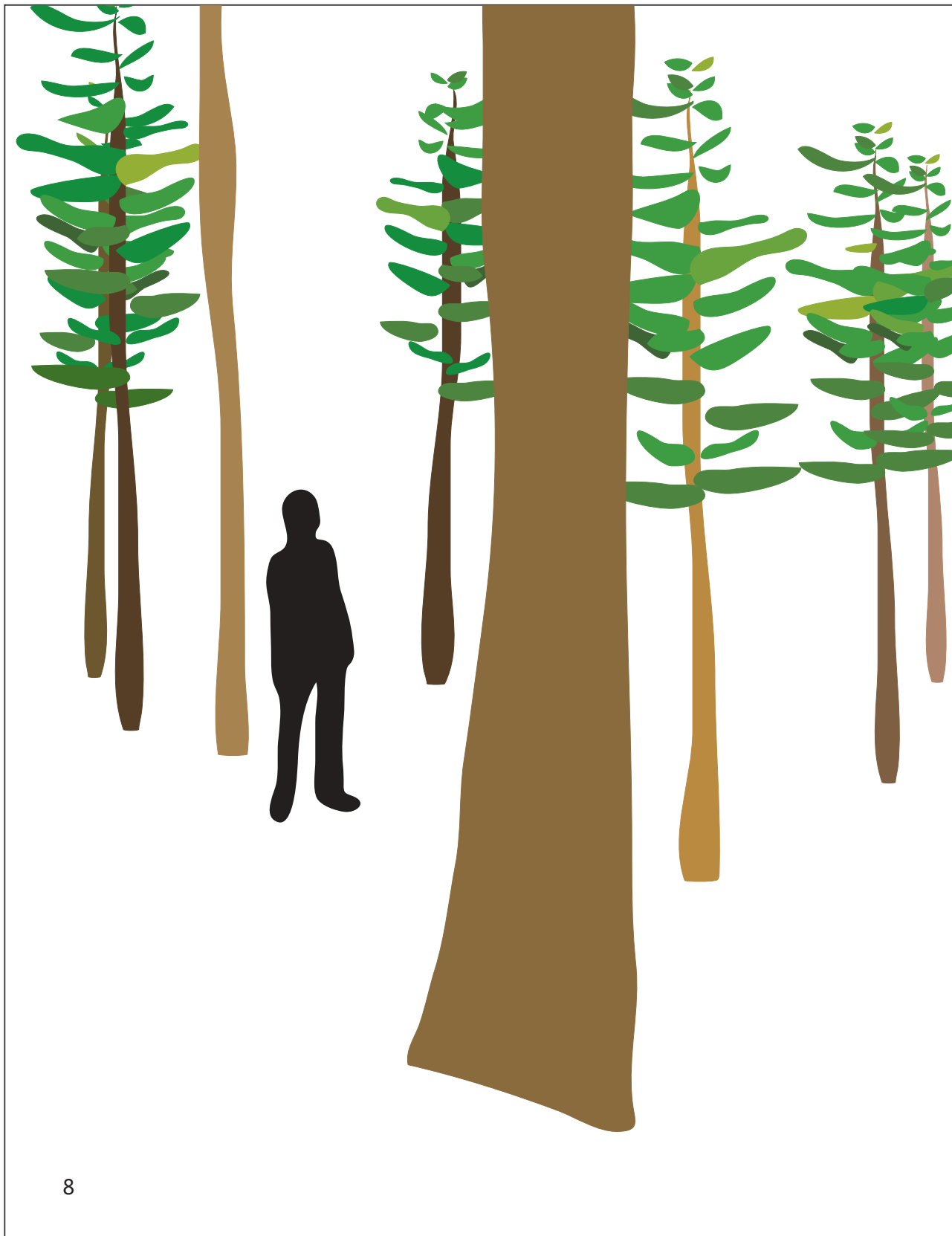
in LNV-DWK onderzoeksprogramma 309 en wordt hier slechts zijdelings behandeld.

De mogelijke gevolgen van klimaatverandering voor diverse ecosystemen werden verkend in het derde thema, evenals onzekerheden in het klimaatsysteem zelf die samenhangen met landgebruik en landgebruiksveranderingen. In het vierde thema tot slot werden, bouwend op kennis vergaard in de andere drie thema's, diverse aspecten van mitigatie en adaptatie geïntegreerd en werden in een meer beleidsmatige context de mogelijkheden voor de realisatie van beleidsdoelen verkend.

De invulling van het onderzoeksprogramma 'Klimaatverandering en de functies van het landelijk gebied' geschiedde onder andere aan de hand van een groot aantal vragen die geformuleerd werden door belanghebbenden uit beleid en onderzoek tijdens een workshop in maart 1998<sup>1</sup>. Het is aan de hand van (een selectie van) deze vragen dat de resultaten van vier jaar onderzoek in dit boekje gepresenteerd worden. De voorliggende publicatie bestaat uit drie lagen. In de eerste laag worden een dertigtal van de toen gestelde vragen, gegroepeerd rond de eerder genoemde vier thema's, kort en bondig beantwoord. In de tweede laag vindt u een beknopte onderbouwing van deze antwoorden met verwijzingen naar de relevante onderzoeksrapporten en ander-soortige publicaties (artikelen uit wetenschappelijke tijdschriften, presentaties en tools) waarvan een kopie is opgenomen op de bijgevoegde CD-ROM, de derde laag.

Tot slot nog het volgende. Klimaatverandering is een uitermate complex probleem dat in zijn oorzaken en gevolgen aan vele aspecten van maatschappij, economie en natuur raakt; waarvan de oorzaken internationaal bestreden moeten worden en de aanpassingen lokaal gerealiseerd. Dit brengt een integratieniveau met zich mee, zowel met betrekking tot onderzoeksuitvoering, alsook – coördinatie en – financiering, dat verder gaat dan die deelgebieden waarvoor LNV direct verantwoordelijk is. Dit komt ook tot uiting in het hier gepresenteerde onderzoek dat veelal medegefinancierd en -gestuurd werd door één of meerdere van de volgende partijen: andere LNV onderzoeksprogramma's, het Nationaal Onderzoek Programma Mondiale Luchtverontreiniging en Klimaatverandering (NOP-II), het Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB), en het 5e kaderprogramma van de Europese Commissie rond 'Energy, environment and sustainable development'. Door een aantal onderzoekers werd actief vorm gegeven aan onderzoekscoördinatie en –synthese binnen de kaders van het International Geosphere Biosphere Programme (IGBP), het World Climate Research Programme (WCRP) en het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

<sup>1</sup> Zie literatuurverwijzingen, pagina 70 e.v.



## Koolstofvastlegging in bos en landbouw

1 2 3 4 5 6 7 8  
9 10

## KOOLSTOFVASTLEGGING IN BOS EN LANDBOUW

10 vragen en antwoorden over opties voor CO<sub>2</sub> emissiereducties na Kyoto



Loofbossen hebben een grotere sink-capaciteit dan naaldbossen, maar die varieert ook sterker van jaar tot jaar.

### 1

#### Hoe groot zijn terrestrische sinks?

Voor Nederland rapporteert het RIVM een jaarlijkse netto koolstofopname door bomen van gemiddeld 1.5 +/- 0.2 Mton CO<sub>2</sub>; kooldioxide emissies uit akkerbouw en wetlands worden (nog) niet gerapporteerd. Voor Europa lopen recente schattingen voor de totale terrestrische sink uiteen van 1063 +/- 660 Mton CO<sub>2</sub> voor atmosferische inversie methoden tot 407 +/- 1023 Mton CO<sub>2</sub> voor inventarisatie methoden. De schattingen voor Europa omvatten zowel bossen (sink), landbouw (source) als wetlands (source). Mondiaal wordt de terrestrische sink geschat op 8.4 +/- 4.8 Gton CO<sub>2</sub>, waarvan 5.9 +/- 2.9 Gton CO<sub>2</sub> weer vrij komt bij landgebruiksveranderingen (vooral ontbossing). Merk op dat alle schattingen momenteel nog grote onzekerheden hebben.

### 2

#### Hoe kunnen we de onzekerheden in schattingen van sinks verkleinen?

Onzekerheden in schattingen van sinks komen voort uit beperkingen van de bestaande meetmethoden, uit grote ruimtelijke en temporele variabiliteit, en uit onvolledige proceskennis. Verkleinen van onzekerheden kan onder andere bereikt worden door het combineren van de bestaande methodes. Schattingen met verschillende bestaande meetmethodes voor hetzelfde bos-ecosysteem verschillen een factor anderhalf. In het LNV programma lag de nadruk op bosccosystemen. Schattingen en de bijbehorende onzekerheden over sinks in (bodems van) landbouwsystemen en wetlands zijn nog nauwelijks onderzocht.

### 3

#### Wat zijn de onzekerheden in sinks als gevolg van onzekerheden in het klimaat?

Koolstofsinks variëren sterk met variaties in het klimaat. In Europa zijn deze klimaatvariaties onder andere geassocieerd met de Noord Atlantische Oscillatie (NAO). Een op fluxmetingen gebaseerde statistische analyse schat dat in een typische NAO cyclus de sinks in naaldbossen met 26% tot 50% kunnen variëren, maar die in loofbossen met meer dan 100%. De grotere sink capaciteit in loofbos bij temperatuurtoename vormt dus tegelijk een erg onzekere optie om emissie reducties mee te realiseren, vooral als de commitmentperiode kort is.



vraag 1 t/m 10

### 4

#### Wat zijn de effecten van 'lange-termijn' klimaatverandering op koolstofopslag in bos?

Verwachte veranderingen die invloed hebben op processen in het bos zijn een toename van de CO<sub>2</sub> concentratie in de lucht, gemiddeld hogere temperaturen en veranderingen in neerslagpatronen en -hoeveelheden. Een toename van de CO<sub>2</sub> concentratie lijkt een tijdelijk positief effect op de bijgroei te hebben, terwijl de temperatuurtoename waarschijnlijk een blijvend positief effect zal hebben. Een hogere bijgroei betekent dat de snelheid van koolstofopslag toe zal nemen, en daarmee ook de gemiddelde hoeveelheid opgeslagen koolstof over langere tijd. De verwachte effecten hangen echter af van de boomsoort en de voedselrijkdom van de bodem. Andere effecten van klimaatverandering kunnen een negatieve invloed hebben op de koolstofopslag, zoals toename van (zomer)droogte, en de mogelijk grotere kans op verstoringen zoals bosbrand, stormen en insectenplagen.

### 5

#### Slaat onbeheerd bos meer koolstof op dan beheerd bos?

In onbeheerd bos is gemiddeld meer koolstof aanwezig dan in beheerd bos van vergelijkbare ouderdom. Beheerd bos neemt netto veel koolstof op, maar ook natuurlijke bossen blijken verrassenderwijs nog aanzienlijke hoeveelheden koolstof op te kunnen nemen. In beheerd bos wordt met de oogst een deel van de opgeslagen koolstof verwijderd, die uiteindelijk weer in

de atmosfeer terecht komt. De verwerking van houtproducten vraagt vaak veel minder energie dan productie en verwerking van alternatieve grondstoffen, en levert daarmee een reductie van de CO<sub>2</sub> uitstoot op. Indien het geogste materiaal gebruikt wordt voor de opwekking van energie, wordt gebruik van fossiele brandstoffen vermeden, wat meer voordeel oplevert dan dat de koolstof in het onbeheerde bos opgeslagen zou blijven. Beheerd bos heeft dus een lagere koolstofvoorraad, maar kan veel bijdragen door de vermindering van de CO<sub>2</sub> uitstoot.

### 6

#### Wat zijn de mogelijkheden om de koolstofopslag in bestaand bos te beïnvloeden?

Op korte termijn zijn de mogelijkheden om koolstofopslag in bestaand bos te vergroten beperkt. Veranderingen in dunningsregime en omlooptijden hebben vrij weinig effect op de bovengrondse voorraad koolstof die gemiddeld over langere tijd in een bos opgeslagen ligt. Op de wat langere termijn heeft vooral de keuze van de boomsoort invloed op de opslagcapaciteit, waarbij vooral loofbossen interessant zijn. Snelgroeiende boomsoorten met een korte omloop leggen in een relatief korte tijd veel vast, maar leggen gemiddeld over langere tijd minder vast dan langzamer groeiende boomsoorten met een lange omloop. Beheerseffecten op koolstof in bosbodems zijn slecht bekend.

# 7

## Hoe verhoudt koolstofopslag zich tot andere functies van het bos?

De snelheid van koolstofvastlegging hangt samen met de omvang van de bijgroei in het bos. Deze bijgroei wordt in productiebos gemaximaliseerd en productie gaat dus goed samen met koolstofopname. In bossen waar meerdere functies worden gecombineerd, wordt over het algemeen een deel van de productiecapaciteit opgeofferd aan andere functies. Dit uit zich bijvoorbeeld in meer open plekken ten gunste van natuur en recreatie, en een andere boomsoortenkeuze. Dit gaat dus ook ten koste van de koolstofopslag in het bos. Meestal hoeft slechts een beperkt deel van de productiecapaciteit ingeleverd te worden om relatief veel effect te bereiken. Dat maakt dat de verschillen in koolstofopslag tussen puur productiebos en multifunctioneel bos vrij klein zijn. Koolstofopslag in bos laat zich dus goed combineren met andere functies.

# 8

## Wat kan de landbouw bijdragen aan de sinks?

In Nederland is het landbouwareaal vele malen groter dan het bosareaal. Dit maakt bestudering van sinksopties in de landbouw interessant. Verschillende beheersopties in de akkerbouw kunnen de koolstofopslag in de bodem bevorderen en of verdere afbraak van in de bodem aanwezige koolstof tegengaan. Omzetting van akkerland in permanent grasland heeft het meeste effect. Toevoegen van organische stof, in de vorm van stalmestgiften of door het achterlaten van

gewasresten op het land, heeft een positief effect. Het beperken van grondbewerkingen (ploegen) heeft ook enig positief effect. Op Europese schaal is het potentieel van deze beheersopties vooral afhankelijk van de reeds, of nog aanwezige hoeveelheid koolstof in de bodem, en van de lokale dynamiek van afbraakprocessen onder invloed van bijvoorbeeld het lokale klimaat.

# 9

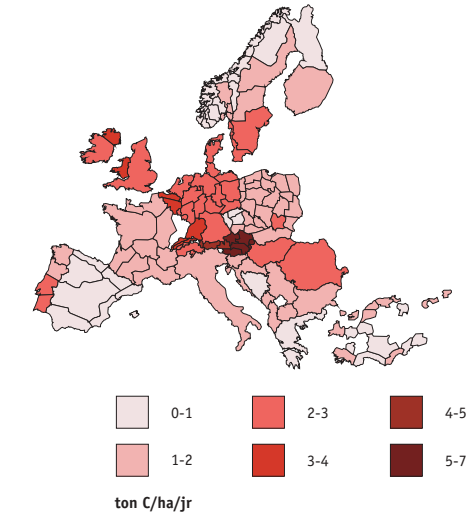
## Wat is het potentieel van biomassa als duurzame energiedrager in Nederland?

Biomassa als energiebron is naast zon- en windenergie een belangrijke optie in het reduceren van de CO<sub>2</sub> emissies. Biomassa kan naast brandstof als grondstof voor producten dienen. De kracht van deze opties is dat de resulterende vermindering van emissies niet meer wordt teruggedraaid en permanent is in tegenstelling tot opslag van koolstof in bodem of bos die later weer vrij kan komen als CO<sub>2</sub>. Als bron van biomassa kan gedacht worden aan speciaal ingerichte productie systemen (bos- en landbouw) maar ook bestaande afval- en reststromen zijn interessant. Bij multifunctionele teelt, multifunctioneel landgebruik, agro-forestry, aanwending van residuen/reststromen en organisch afval kan 10% van de Nederlandse energievoorziening van in Nederland geteelde biomassa komen.

# 10

## Hoe vormen we ons monitoringsysteem? Hoe uitgebreid dient dat te zijn?

Een monitorings-, c.q. rapportagesysteem onder het klimaatverdrag dient uiteindelijk 2 doelen: de nationale inventory van emissies (NI) en de activiteiten onder het Kyoto Protocol (KP). Veel, maar niet alle componenten van beide systemen kunnen hetzelfde zijn. Daarnaast is het wenselijk om de emissies en rapportages te verifiëren met metingen. Momenteel rapporteert Nederland conform standaard IPCC methoden met hier een daar een specifieke Nederlandse benadering. Voor KP rapportages zijn in principe andere methoden mogelijk: denk aan metingen in objecten met vergelijking van maatregel of management (controle en behandeling). De rapportage van de NI zal landsdekkend moeten zijn, die voor het KP niet persé maar de hierin gerapporteerde activiteiten dienen wel ruimtelijk expliciet te worden gemaakt. Het is van belang om rapportages te baseren op langjarige metingen om variatie tussen jaren mee te nemen in de schattingen en berekeningen. Een nationaal monitoringssysteem zal bij voorkeur gebruik maken van bestaande meetnetten. Zo zijn er mogelijkheden via remote sensing de bodembedekking te bepalen en de oppervlakte bepalingen zijn te halen uit de bestaande registratie systemen. Een belangrijke voorwaarde bij het opzetten van een KP monitoringsysteem is de koppeling tussen locatie en (specifieke) activiteit. Voor *verificatiedoelinden* – wordt inderdaad dát geëmitteerd wat middels voorgaande methode wordt gerapporteerd? – is een andersoortig monitoringssysteem noodzakelijk waarvan ook atmosferische inversiemethoden deel moeten uit maken.



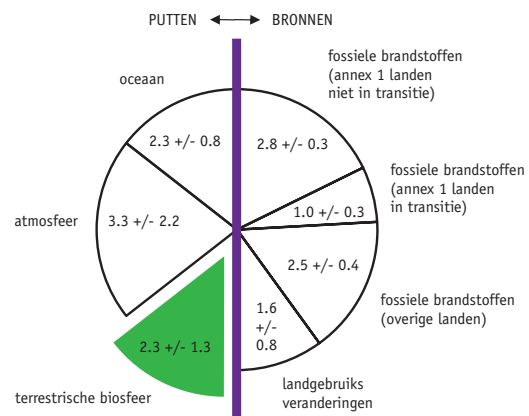
De koolstofsink in Europese bossen, afgeleid uit bosinventarisaties.



Productiebos heeft een lagere koolstofvoorraad dan onbeheerd bos, maar het gebruik van bosproducten (als grondstof of als brandstof) voorkomt veel emissies van fossiele brandstoffen.

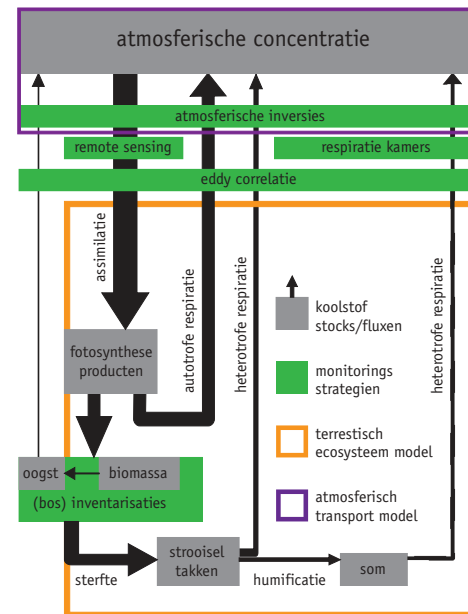
## KOOLSTOFVASTLEGGING IN BOS EN LANDBOUW

Mondiale Koolstofbalans 1989–1998 (Gton Koolstof per jaar)



**Figuur 1** De omvang van koolstof sources en sinks op mondiale schaal.

**Figuur 2** Koolstofcyclus in een (bos)eco-systeem. De pijlen geven de koolstofstromen (fluxen) weer en de grijze boxen de koolstofvoorraden (stocks). Het aangrijpingspunt van verschillende meettechnieken is met de groene boxen aangegeven.



### Inleiding

Grofweg valt de mondiale koolstofbalans uiteen in twee componenten: opname en uitstoot van koolstofdioxide. Uit figuur 1 kan duidelijk worden afgelezen dat het verbruik van fossiele brandstof de uitstoot bepaalt en dat landgebruik in beide componenten een beperkte bijdrage levert. Toch is het aandeel van 'landgebruik' niet onbelangrijk omdat dit de plek is waar de wisselwerking van de mens met haar omgeving plaats heeft. De processen in de biosfeer kunnen worden vertraagd of versneld door menselijk handelen. Het meest dramatische voorbeeld is ontbossing waarbij grote hoeveelheden koolstof worden uitgestoten.

Tijdens het LNV programma lag bij de uitwerking van het onderwerp landgebruik de nadruk op bosecosystemen, maar meer recent zijn internationaal ook landbouwsystemen en wetlands in beeld gekomen. Hier is door het programma echter zeer beperkt invulling aan gegeven<sup>2,3</sup> (hfdstuk 3). We beperken ons hier verder dan ook tot bosecosystemen.

### De koolstofkringloop in bos

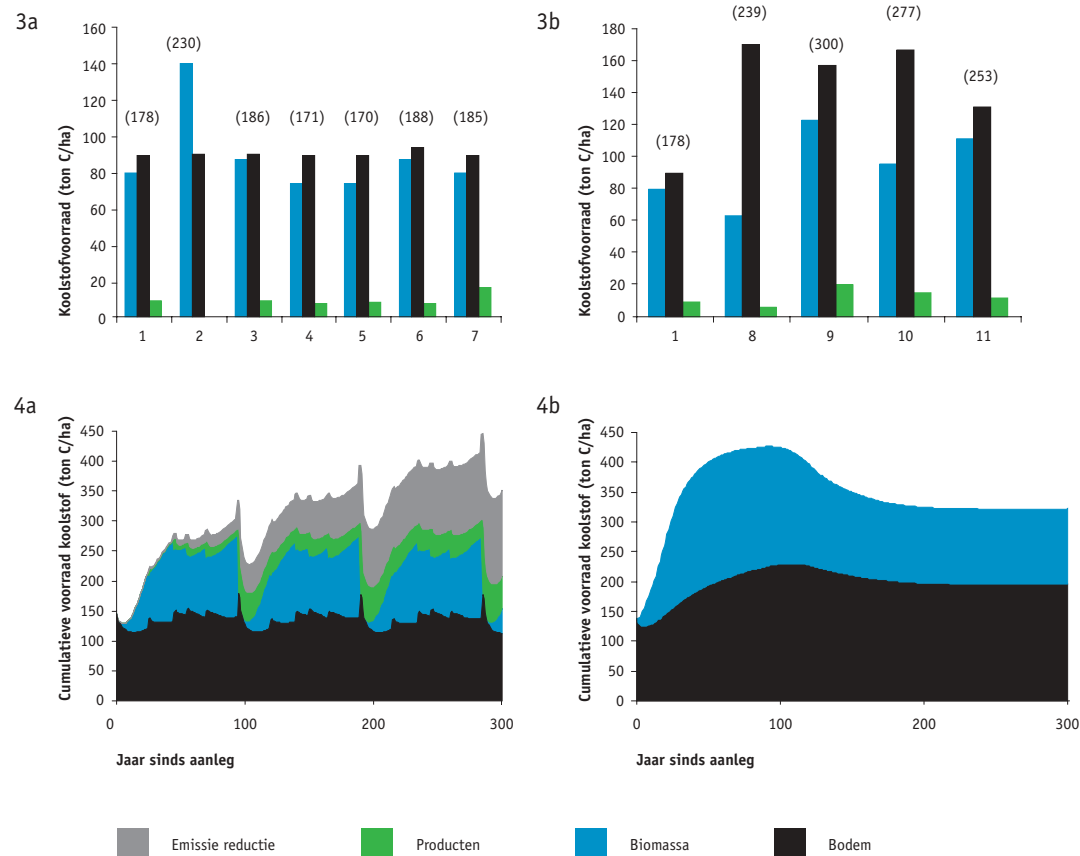
Ecosystemen wisselen grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> uit met de atmosfeer. Bomen nemen via fotosynthese CO<sub>2</sub> op uit de lucht en zetten die om in suikers (figuur 2). Een deel van deze suikers wordt gebruikt voor de onderhoudsademhaling en een deel voor groei. Via tak- en bladval, oogstresten en natuurlijke sterfte komt de in de plant opgeslagen koolstof in de bodem terecht. Een deel van het gevormde strooisel verteert, waarbij de koolstof weer vrijkomt als CO<sub>2</sub>, en een deel wordt langdurig in de bodem opgeslagen als humus. In een beheerd bos wordt periodiek geoogst, waarbij een deel van de in de plant opgeslagen koolstof verwijderd wordt in de vorm van houtproducten. Uiteindelijk komt via natuurlijke afbraak of verbranding de in de producten vastgelegde koolstof weer terug in de atmosfeer. In deze kringloop is op drie plekken een vastlegging van koolstof te onderscheiden, namelijk in de biomassa, in de bodem, en in de producten (de boxen in figuur 2). In een evenwichtssituatie zit gemiddeld ongeveer 50% van de opgeslagen koolstof van een bos in de bodem, 45% in de biomassa en 5% in de houtproducten.

### De invloed van beheer

Beheersmaatregelen, zoals keuze van de boomsoorten en timing van dunningen en eindkap hebben invloed op de snelheid en grootte van de genoemde processen en dus ook op de hoeveelheid koolstof in biomassa, bodem en producten<sup>4,5,6,7</sup>. In figuur 3 is weergegeven wat voor invloed veranderingen in beheer en boomsoortensamenstelling hebben. Uit de figuur blijkt dat veranderingen in dunningsfrequentie of eindkap relatief weinig effect hebben. Verder blijkt dat de verschillen tussen boomsoorten aanzienlijk zijn. Dit is deels te verklaren uit de verschillen in bodemtypen. Sneller groeiende soorten staan meestal op rijkere bodems die ook rijker zijn aan koolstof, zodat het totaal voor bijvoorbeeld een beukenbos veel hoger uitkomt. De verschillen in biomassa zijn echter ook niet te verwaarlozen, zodat omvormen van grove dennenbos naar boomsoorten zoals eik en berk per saldo ook een bijdrage kan leveren. De huidige verschuiving in het Nederlandse bos van grove den naar meer eik en berk kan dus op termijn leiden tot een grotere koolstofopslag in onze bossen.

Natuurlijk bos heeft in het algemeen een grotere voorraad koolstof in de biomassa dan beheerd bos, er zijn echter geen houtproducten. De totale voorraad koolstof in onbeheerd is groter dan in beheerd bos en het lijkt daarmee uit koolstofopslag voordeliger om niet te oogsten. Het gebruik van hout heeft echter ook gevolgen voor koolstofuitstoot buiten de sector. Naast de daadwer-





**Figuur 3 a)** Effect van verschillende beheersmaatregelen op de gemiddelde voorraad koolstof in bodem, biomassa en producten, met tussen haakjes de voorraad in het hele systeem. 1: grove den omloop 90 jaar (referentie), 2: grove den onbeheerd, 3: niet dunnen, wel eindkap, 4: 2 keer zoveel dunnen, 5: 2 keer zo zwaar dunnen, 6: omloop 120 jaar, 7: levensduur produkten 2 keer zo lang.

**Figuur 3 b)** Gemiddelde voorraad koolstof in bodem, biomassa en producten van verschillende boomsoorten op verschillende bodemsoorten (tussen haakjes de voorraad in het hele systeem). 8: populier omloop 45 jaar (1 dunning), 9: beuk, omloop 140 jaar (4x gedund), 10: fijnspar, omloop 90 jaar (2x gedund), 11: zomereik, omloop 120 jaar (4x gedund). Let op: de bostypen 8 t/m 11 zijn geïnitieerd op het bodemtype waar zij van nature voorkomen, dit zijn dus andere bodems dan die onder bostype 1 t/m 7

**Figuur 4** Koolstof voorraden in beheerd (a) en onbeheerd (b) fijnspar bos. In onbeheerd bos neemt beuk na zo'n 100 jaar de dominantie over. Al het dood hout blijft hier achter in het bos. In beheerd bos worden regelmatig houtproducten geproduceerd, waarvan het emissiereductie effect ook is weergegeven.

kelijke vastlegging in houtproducten zorgt hout namelijk voor een vermindering van de CO<sub>2</sub>-emissie uit fossiele brandstof.

Houtproducten vergen voor productie en verwerking meestal minder energie dan alternatieve grondstoffen (zoals beton of staal) voor een vergelijkbaar product. Door het gebruik van hout kan dus een hoeveelheid CO<sub>2</sub> uitstoot uit fossiele brandstoffen worden voorkomen. Dit is een blijvend effect, ook na het einde van de levensduur van het product. Elke kubieke meter geproduceerde houtproducten zou op deze manier 0.28 ton koolstof uitstoot voorkomen.

Biomassa, bijvoorbeeld afkomstig van speciale energieplantages, dunningshout of afgedankte houtproducten, kan worden gebruikt voor het opwekken van energie. Dit kan zowel in speciale biomassa gestookte energiecentrales als in afvalverbrandingsinstallaties. Dit heeft een blijvend effect, iedere liter olie die bespaard is, zorgt in lengte van dagen voor een lager CO<sub>2</sub> gehalte in de atmosfeer. Bijvoorbeeld iedere kubieke meter vurenhout die gebruikt wordt voor energieopwekking voorkomt een uitstoot van 0.16 ton koolstof uit fossiele brandstof.

Figuur 4 geeft een vergelijking tussen het wel of niet beheren van bos waarbij ook het emissiereductie effect van de houtproducten is meegenomen. Te zien is dat in het onbeheerde bos (figuur 4b) sneller een grotere biomassa in bomen en bodem wordt opgebouwd, maar dat daar door successie en natuurlijke sterfte de hoeveelheid koolstof ook weer afneemt. In het beheerde bos (figuur 4a) wordt door dunningen en eindkap de hoeveelheid koolstof in biomassa beperkt, maar op langere termijn levert het totaal effect een grotere hoeveelheid koolstof (vastgelegd dan wel voorkomen emissie) op.

Niet beheerde, volwassen 'climax' bossen in een evenwichtssituatie nemen per definitie netto geen koolstof op. Echter, in Europa komen dergelijke bossen niet meer voor. Als resultaat van veranderende bospolitiek zijn de huidige onbeheerde bossen juist over het algemeen vrij jong en nemen daardoor momenteel grote hoeveelheden koolstof op. Maar zelfs in (zeer) oude bossen zoals in Siberie en het Amazonegebied worden, zowel met biometrische methoden als met fluxmetingen, matige tot grote opnames gemeten<sup>8,9,10</sup>. De reden hiervoor is dat zelfs deze bossen over het algemeen niet echt in evenwicht zijn, maar in de afgelopen 100-200 jaar wel eens verstoord zijn geweest door droogtes, branden, plagen of anthropogene ingrepen. Daarnaast verkeren deze ecosystemen tegenwoordig nooit in een evenwicht met de atmosfeer omdat zowel CO<sub>2</sub> concentraties als het klimaat veranderen (figuur 5).



**Figuur 5** De effecten van beheer op de sinkfunctie van bossen zijn vrij goed bekend: die van verstoringen (storm – zoals op de foto, of branden) veel minder.

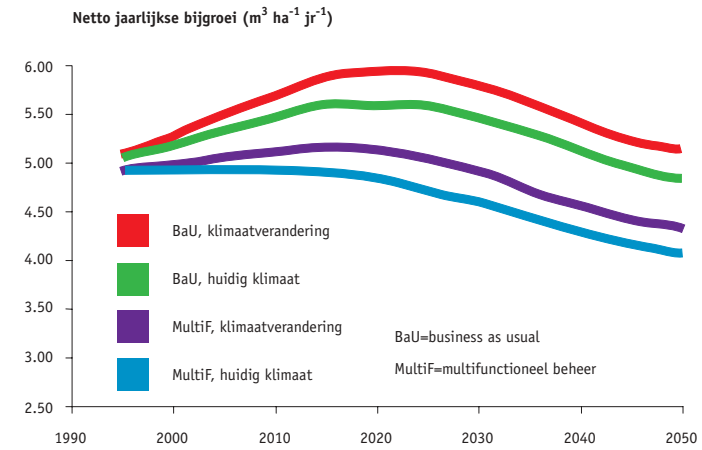
### Effecten van klimaatsverandering op de koolstofsinks in bossen

Processen die betrokken zijn bij de koolstofstromen in natuurlijke ecosystemen, zoals fotosynthese, ademhaling, groei, bladval en strooiselafbraak (zie figuur 2), hangen af van klimaatfactoren zoals straling, temperatuur, neerslag en vochtigheid<sup>11,12,13,14</sup>. Het is waarschijnlijk dat temperatuurverhoging de afbraak van organisch materiaal in de bodem zal bevorderen, en dat veranderingen in bewolking, neerslag en temperatuur de opname van de biomassa zullen beïnvloeden. Vooral een hogere temperatuur en een langer groeiseizoen lijken tot verhoging van de koolstofopname te leiden. Een hogere groei gaat gepaard met een verandering van de behoefte aan nutriënten. Hier ligt een belangrijk terugkoppelingsmoment waarover nog onvoldoende informatie beschikbaar is om uitspraken te ondersteunen over een blijvend verhoogde koolstofopname in terrestrische ecosystemen. Op soortsniveau kan klimaatverandering de successieverhoudingen in een bos beïnvloeden, en in onbeheerd bos dus op den duur leiden tot een andere soortensamenstelling<sup>15,16,17,18</sup>.

Een minder intensief dunningsregime leidt tot een grotere toevoer van organisch materiaal naar de bodem, hetgeen de hogere afbraak door opwarming kan compenseren. De ontwikkeling van bovengrondse biomassa is sterk gevoelig voor het beheer, dus dunningsintensiteit *en* gedunde hoeveelheden, en ook voor de groeikarakteristieken van de boomsoort. Over het algemeen is bij een hogere temperatuur de totale koolstofopslagcapaciteit in loofbossen hoger en in naaldbossen lager. Extensivering van het beheer leidt altijd tot hogere opslagcapaciteit, dus het werkt versterkend op het temperatuureffect in loofbossen maar compenserend in naaldbossen (figuur 6)<sup>19,20</sup>.

Analyse van fluxdata wijst uit dat de jaarlijkse instraling en de lengte van het groeiseizoen de belangrijkste voorspellende factoren zijn voor de koolstofopname in bossen. Een van de indices van klimaatvariabiliteit in Europa is de Noord-Atlantische Oscillatie (NAO). Deze index is een maat is voor de intensiteit van de westelijke stroming, met andere woorden, de 'gematigdheid' van het Europese weer. Uit data-analyses blijkt dat de koolstofuitwisseling in de winter goed gecorreleerd is met de NAO maar 's zomers niet. Voor het voorspellen van jaarlijkse sinksterktes en variabiliteit is de NAO dus maar ten dele bruikbaar<sup>21</sup>.

De binnen het programma klimaat gedane studies naar de duurzaamheid van koolstofsinks geven aan dat, hoewel bij korte termijn variabiliteit negatieve



**Figuur 6** Verwachte ontwikkeling van de bijgroei in Europa tussen 1995 en 2050 onder twee beheersscenario's, gecombineerd met de effecten van klimaatsverandering.

effecten van temperatuurtoename kunnen optreden, bij geleidelijke, niet-extreme klimaatsveranderingen over langere tijd een temperatuurtoename zal leiden tot iets hogere opslag van koolstof in bossen. Dit effect kan versterkt worden door het beheer te extensiveren<sup>21</sup>.

### Methoden en onzekerheden in het monitoren van koolstofsinks

Als gevolg van het klimaatverdrag is Nederland verplicht om een jaarlijkse rapportage op te stellen over de omvang van de koolstofvoorraden en over de veranderingen in deze voorraden. Naast het politieke doel verschaft monitoring wetenschappelijk inzicht in onderliggende processen. Binnen het klimaatprogramma heeft tot nu toe vooral het wetenschappelijk doel voorop gestaan.

Binnen het programma zijn een tweetal methodes voor boscystemen uitgewerkt: het direct meten van fluxen en het schatten van (veranderingen in) voorraden op basis van bosinventarisaties (zie figuur 2). Deze methoden en de beperkingen en onzekerheden worden hier verder besproken. Aan onzekerheden in niet-bos systemen zoals landbouw en wetlands is binnen het programma geen aandacht besteed.

### Het meten van fluxen: eddy correlatie

Eddy correlatie is een meetmethode waarmee de netto koolstofuitwisseling van een landoppervlak tot enige km<sup>2</sup> direct kan worden bepaald via een puntmeting (verschil tussen fotosynthese, onderhoudsademhaling en strooisel-

afbraak, zie figuur 2). Er wordt gebruik gemaakt van automatische, gevoelige instrumenten bovenop een toren die boven de vegetatie uitsteekt (Figuur 7)<sup>22</sup>. De metingen hebben een hoge tijdsresolutie, waardoor variatie in de koolstofopname gedetailleerd bestudeerd kan worden<sup>23</sup>. Een nadeel is echter dat de onttrekking van koolstof aan het systeem door oogst niet meegenomen wordt. Noodzakelijke aannames in deze methode leiden tot een variabele onzekerheid in de orde van 10-20% van de puntmeting<sup>24,25</sup>. Bij lage windsnelheden zijn de metingen onbetrouwbaar. Aangezien dit meestal 's nachts optreedt, wanneer de koolstof emissie overheerst, wordt de netto koolstofopname meestal overschat. In de praktijk blijkt dat eddy correlatie metingen meestal een grotere opname aangeven dan biometrische schattingen<sup>26,27</sup>. Sinds de opkomst van de eddy correlatie techniek heeft zich mondiaal een steeds groeiend netwerk gevormd van meettorens die de netto koolstofopslag van met name bossen monitoren. Sinds ongeveer 7 jaar worden de datastromen van deze netwerken gestroomlijnd en gebundeld in internationale verbanden zoals Euroflux<sup>28</sup>, CarboEurope<sup>29,30</sup>, FLUXNET<sup>31,32,33</sup> (Figuur 8) en LBA<sup>34</sup>. Het LNV onderzoeks-programma Klimaat heeft een substantiële bijdrage aan deze netwerken geleverd via de langjarige meetreeksen in het Loobos<sup>23,35</sup> op de Veluwe en op twee locaties in het Amazonegebied<sup>36</sup>.



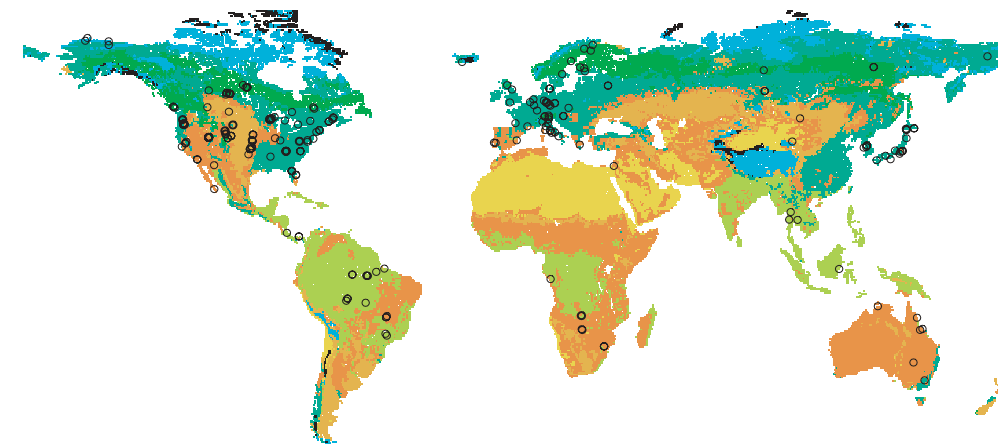
**Figuur 7** Fluxtoren boven tropisch regenwoud nabij Manaus, Brazilië.

#### Het meten van de voorraden: biometrie

Voor het bepalen van de koolstofopslag in boombiomassa kan gebruik gemaakt worden van bosinventarisaties. Bosinventarisaties zijn van oudsher uitgevoerd om de hoeveelheid stamhout in bossen te bepalen. Door middel van eenvoudige expansiefactoren kan de hoeveelheid koolstof in de totale biomassa, inclusief takken, bladeren en wortels, geschat worden. Het voordeel van deze methode is dat de hoeveelheid koolstof van verschillende biomassa componenten afzonderlijk bepaald kan worden, en dat er rekening gehouden wordt met houtoogst. Een ander voordeel is dat bosinventarisaties op elke gewenste schaal kunnen worden uitgevoerd, vanaf enkele hectares tot landsdekkend, waarbij aangesloten kan worden aan bestaande meetnetten<sup>37,38,39,40</sup>.

Een nadeel is dat de koolstofvoorraad in de bodem (nog) niet standaard geïnventariseerd wordt. Bestaande Nederlandse meetnetwerken, die sterke overeenkomsten vertonen met het netwerk van bosinventarisaties, zijn slechts eenmalig bemonsterd en zijn daardoor slechts bruikbaar voor een schatting van bestaande voorraden. Doordat de netto vastleggingssnelheid in de bodem laag is en de ruimtelijke variabiliteit hoog, zal het moeilijk zijn om met herhaalde inventarisaties uitspraken te doen over veranderingen in de voorraad bodemkoolstof op korte termijn (5 jaar)<sup>41</sup>. Een andere mogelijkheid is om de

#### FLUXNET lokaties

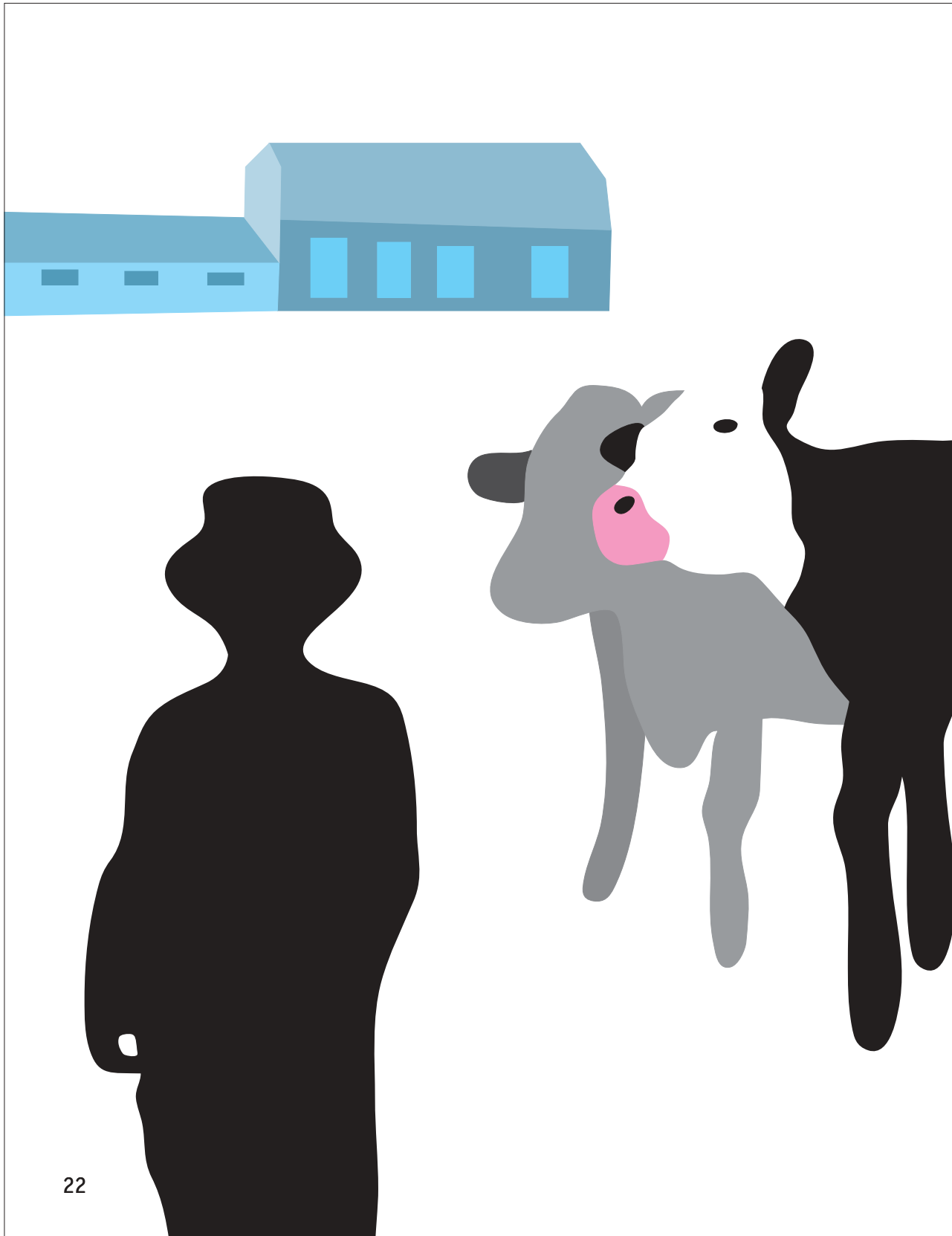


inventarisatie van de biomassa te gebruiken om een schatting te geven van de hoeveelheid strooisel die jaarlijks geproduceerd wordt. Met behulp van bodemmodellen, die de afbraak van organische stof berekenen, kan dan bepaald worden wat de netto koolstofopslag in de bodem is.

**Figuur 8** FLUXNET is een gecoördineerd mondiaal meetnetwerk van fluxtoren, veelal in bossen.

#### Integrale benadering

Op mondiale en continentale schaal is het mogelijk om schattingen te baseren op grootschalige gradienten in atmosferische CO<sub>2</sub> concentratie (inversie-benadering). Meten op deze schaal kan problemen met opschaling en lateraal koolstoftransport verminderen. Deze methode wordt al toegepast maar de onzekerheden zijn nog erg groot door een beperkt aantal goede meetpunten. Op regionale schaal, in de orde van honderd km<sup>2</sup>, kan op vergelijkbare manier met atmosferische budgetten gewerkt worden, maar hoewel de resolutie uiteraard hoger is gaat het hier nog slechts om pilot experimenten<sup>42,43</sup>. Flux en biometrische methoden zijn alleen bruikbaar voor regionale monitoring als ze worden 'opgeschaald', ofwel geëxtrapoleerd. Uit het werk gedaan onder het programma klimaat en gerelateerde (internationale) projecten is steeds duidelijker geworden dat een 'full accounting' koolstofmonitoring programma niet op slechts een methode kan berusten maar juist zoveel mogelijk informatie van verschillende methoden op verschillende observatieschalen zal moeten integreren, met behulp van ecologische en meteorologische modellen, waaruit een 'beste schatting' kan worden gemaakt (zie figuur 2, en figuur 9).



## Emissies van lachgas en methaan uit de landbouw

11 12 13  
14 15 16 17

## EMISSIES VAN LACHGAS EN METHAAN UIT DE LANDBOUW

7 vragen en antwoorden over opties voor emissiereducties overige broeikasgassen na Kyoto

### 11

#### Wat is de huidige omvang van de emissies van broeikasgassen uit de landbouw in Nederland?

De landbouw draagt ca 10% bij aan de totale emissie van broeikasgassen in Nederland. In 2000 bedroegen de emissies: 23 Kton N<sub>2</sub>O, 413 Kton CH<sub>4</sub> en 7 Mton CO<sub>2</sub>. Omgerekend naar CO<sub>2</sub> equivalenten\* komt dat neer op een totaal van 27 Mton, waarbij lachgas en methaan voor respectievelijk 31 en 38% bijdragen aan het totaal\*\*.

### 12

#### Hoe beïnvloeden veranderingen in landgebruik en waterbeheer de emissie van N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, en CH<sub>4</sub>? Hoe stellen we die effecten vast?

Bemesting leidt tot de emissie van lachgas. Daardoor is de lachgasemissie van landbouwgronden hoger dan van natuur. CO<sub>2</sub> kan zowel in land- als bosbouw vastgelegd worden. De mate waarin dat gebeurt hangt af van de wijze waarop het beheer gevoerd wordt en de continuïteit daarvan. In grasland wordt meer koolstof vastgelegd dan in bouwland, maar vastlegging in bodems is in principe omkeerbaar en daarom slechts tijdelijk. Het huidige graslandbeheer in Nederland (veel omzetting van permanent grasland in tijdelijk grasland en frequente graslandvernieuwing) is verantwoordelijk voor omvangrijke emissies. Ook het waterbeheer heeft invloed op de emissie van broeikasgassen. Een hoge grondwaterstand bevordert

\* Lachgas en methaan dragen per gewichtseenheid veel meer bij aan het broeikaseffect: de zgn. 'global warming potential' voor beide is ongeveer 300, respectievelijk 20 maal die van kooldioxide.

de emissie van lachgas, met name uit de landbouw, en van methaan, met name uit veengebieden. Een verlaging van de grondwaterstand leidt in diezelfde veengebieden tot een verhoging van de emissie van CO<sub>2</sub>. Tot op heden zijn deze effecten vastgesteld door metingen aan de emissie van individuele broeikasgassen, en beschreven middels modellen. Een integrale aanpak waarbij voor een situatie alle drie de gassen gemeten worden op dezelfde schaal ontbreekt vooralsnog.

### 13

#### Hoe beïnvloeden teelttechnische, landbouwkundige en beheersmaatregelen de emissies van N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, en CH<sub>4</sub> en de verhouding daartussen?

Naast waterbeheer beïnvloeden ook teelttechnische maatregelen als ploegen, zaaien en bemesten de emissie van broeikasgassen. Voor de emissie van lachgas zijn met name het tijdstip waarop bemest wordt in relatie tot de gewasontwikkeling, het type mest, en het weer in de week rondom de bemesting van belang. Ook de wijze en de diepte waarop de mest in de grond ingebracht wordt speelt een rol. Op de emissie van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> hebben deze teelttechnische maatregel geen of nauwelijks invloed, hoewel de ploegdiepte en -frequentie wel invloed hebben op de koolstofvastlegging van de bodem.

\*\* Bron: Milieubalans 2002 (RIVM). Alternatieve methoden en databases schatten de lachgasemissies 20-40% hoger in, zie pagina 31 en 32



### 14

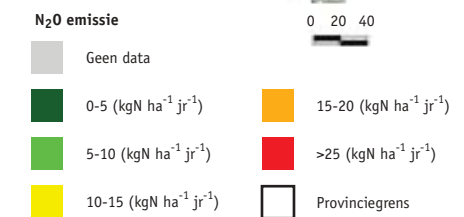
#### Is het mogelijk de emissies van overige broeikasgassen uit de landbouw in Nederland te verminderen en is het nodig om daartoe bedrijfssystemen aan te passen?

Het is mogelijk om door middel van gerichte maatregelen de emissies van lachgas in Nederland te verminderen, ook zonder daartoe de bedrijfssystemen aan te passen. Voorbeelden zijn het minder bemesten, een andere meststof te kiezen, of een bemestingsstrategie toe te passen, waarbij rekening gehouden wordt met de eigenschappen van de mest. Ook kan landbouwgrond uit productie te genomen worden.

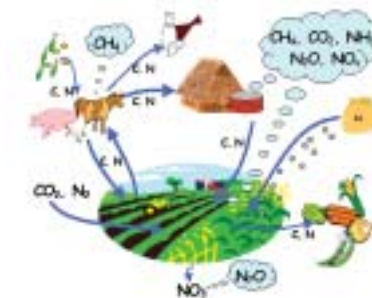
### 15

#### Wat is het rendement van maatregelen en oplossingen gericht op het verminderen van broeikasgasemissies op bedrijfsniveau en op sectorniveau?

Een deel van de mogelijk emissiereducerende maatregelen leveren geld op of kosten niets ('no-regret'), terwijl andere maatregelen bij implementatie geld kosten of investeringen vergen. De waarde van het (historisch) emissierecht in de landbouw bedraagt € 19-195 per ha, of € 9 tot 171 per ton gras. Indien de emissie kan worden verminderd of voorkomen, en het recht wordt verhandeld, kan dat inkomsten genereren. Zolang er niet gehandeld kan worden geniet het de voorkeur datgene te doen wat gemakkelijk en goedkoop kan, zoals minder bemesten of het kiezen van het mesttype met de laagste emissie.



Ruimtelijke verdeling van lachgasemissies in Nederland volgens Mest93 scenario<sup>32</sup>.



Broeikasgassen in relatie tot kool- en stikstofstromen in de landbouw.



Mestinjectie is ingevoerd om ammoniak emissies te verminderen. Lachgasemissies nemen daardoor echter toe.

## 16

### Kunnen ecologisering van de landbouw en klimaatbeleid elkaar versterken en zijn tegenstrijdigheden op te vangen?

De relaties tussen de beleidsdossiers 'ecologisering/extensivering' en klimaat zijn complex en de huidige kennis staat alleen een kwalitatieve evaluatie toe. Extensivering, dus verlaging van de veebezetting leidt naar verwachting tot een lagere emissie per hectare, vooral van lachgas. Toename van de beweidingduur leidt echter tot een hogere emissie van lachgas. Tegelijkertijd hebben veranderingen in de bedrijfsvoering tot gevolg dat de boer minder controle heeft over stikstofomzettingen. De toediening, met name aan het einde van het groeiseizoen, van dierlijke mest of stalmest leidt tot hogere emissie van broeikasgassen. Het netto effect is waarschijnlijk een vermindering van de emissie van lachgas, vooral in westelijk Nederland. Tenslotte is de verwachting dat ecologisering leidt tot een toename in het organische stof gehalte van de bodem, hetgeen congruent is met het klimaatbeleid.

## 17

### Wat hebben maatregelen voor het ene milieuthema voor gevolgen voor andere thema's. Zijn wegingsfactoren nodig?

Het volumebeleid binnen het mestbeleid spoort met het klimaatbeleid omdat minder mest leidt tot een lagere emissie van lachgas. Ook het op stal houden van de koeien heeft dat effect omdat er minder weidemest is. Veel maatregelen ter vermindering van nitraatuitspoeling leiden tot een lagere emissie van lachgas. Er zijn echter ook voorbeelden waarin de momenteel gepropageerde aanpak leidt tot een hogere emissie van broeikasgassen: het inwerken van mest in de grond om de emissie van ammoniak te verminderen leidt tot een hogere emissie van lachgas. Ook vernatting leidt tot een hogere emissie van lachgas (en methaan) uit de landbouw. Voor een integrale benadering van deze thema's zijn integrale metingen nodig om kwantitatief inzicht te krijgen in de onderlinge wegingsfactoren en de integrale milieueffecten te berekenen.

## EMISSIES VAN LACHGAS EN METHAAN UIT DE LANDBOUW

### Inleiding

De landbouw draagt circa 10% bij aan de totale emissie van broeikasgassen, vooral in de vorm van kooldioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). De CO<sub>2</sub> is grotendeels afkomstig uit de glastuinbouw, waar het vrijkomt bij de verwarming en belichting van de kassen. De landbouwgebonden emissie van CH<sub>4</sub> is voor 80% afkomstig van herkauwers, vooral koeien, en voor 20% uit de opslag van dierlijke mest\*<sup>44</sup>. De landbouwgebonden emissie van N<sub>2</sub>O is voor ruim 90% afkomstig uit de bodem en voor minder dan 10% uit stallen en mestopslagen. Veranderingen in overheidsbeleid, management, markt en technologie kunnen een fors effect op de emissies van CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O uit de landbouw<sup>45,46</sup>.

	1990	1995	2000	2010 - EC	2010 - GC
Lachgas	22 (6,8)	27 (8,4)	23 (7,1)	19.9 (7,6)	20.9 (8,2)
Methaan	508 (10,7)	480 (10,1)	413 (8,7)	360 (6,2)	390 (6,5)
	kton N <sub>2</sub> O/CH <sub>4</sub> per jaar (Mton CO <sub>2</sub> -equivalenten)				

bron: 1990 en 2000: RIVM milieuverkenningen 2002; 2010: RIVM NMV5, voor twee CPB scenarios voor de economische ontwikkeling "European Coordination" (EC) 2.7% gemiddelde groei, en "Global Competition" (GC) 3.3% groei

Deze totalen worden berekend uit de omvang van de mestgiften in Nederland en enkele default emissiefactoren. Actuele emissiefactoren blijken in het veld sterk samen te hangen met weer, mesttype en -toedieningsvorm, grondsoort, waterbeheer en landgebruik.

### Welke factoren beïnvloeden de lachgasemissies?

De dynamiek van de emissie van CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden, met name in de dagen voor en na de bemesting. Dit leidt ertoe dat bij eenzelfde bemestingsregime de emissies van jaar tot jaar sterk kunnen variëren. Daarnaast leidt extreme droogte tijdens het groeiseizoen tot een lagere emissie van broeikasgassen, extreme neerslag tot een verhoging.

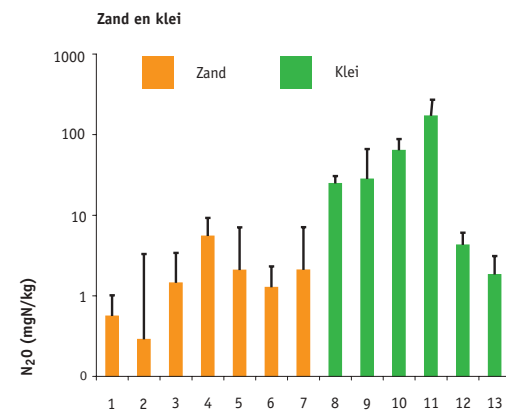
\* Onderzoek aan methaanemissies uit de veehouderij zijn onderzocht in LNV-DWK Onderzoeksprogramma 309 "Gasvormige emis-

sies uit de veehouderij", en worden hier niet verder besproken.

Tabel 1

Omvang van emissies van lachgas (N<sub>2</sub>O) en methaan (CH<sub>4</sub>) uit de Nederlandse landbouw.





**Figuur 9** Lachgasemissies (mg N per kg grond) uit 7 zandgronden (oranje, 1-7) en 6 kleigronden (groen, 8-13) na toevoeging van stikstof in laboratoriumproeven (let op de logaritmische schaal).

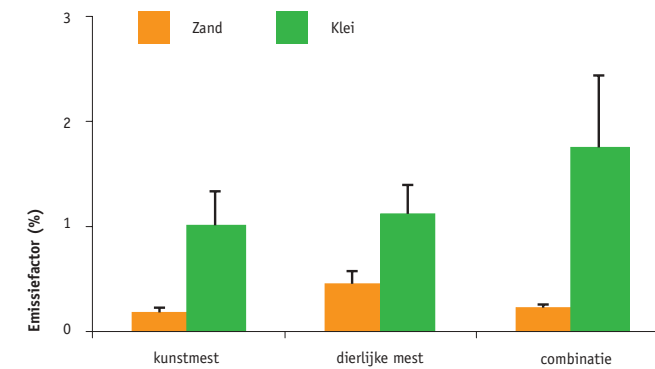
### Bodemtype

Laboratoriumexperimenten laten zien dat de (potentiële) lachgasemissie van een 7-tal zandgronden na het toevoegen van nitraat of nitraat plus glucose kan oplopen tot maximaal 100 mg N/kg grond, terwijl voor een 6-tal kleigronden deze waarde tot 25 maal hoger kan zijn (figuur 9). Het is niet duidelijk waardoor deze verschillen in emissie en met name in klei wordt bepaald<sup>47</sup>.

Ook uit veldproeven (foto) blijkt dat de emissies op kleigronden hoger zijn dan op zandgronden (figuur 10), maar ook hier zijn er uitzonderingen. Hierbij moet opgemerkt worden dat het niet altijd om volledige meetjaren ging, dat het om de periode 2000-2002 gaat, en dat er op slechts enkele locaties gemeten is. Het is dus niet duidelijk in hoeverre deze emissiefactoren representatief zijn. De emissiefactor op zand ligt gemiddeld beduidend lager dan de IPCC defaultwaarde. Er is vooralsnog geen aanwijzingen dat dit op klei ook het geval is. De relatief hoge emissiefactor voor klei is gerelateerd aan een experiment met mais op klei.

### Waterbeheer

Vernatting heeft invloed op de emissie van lachgas<sup>48,49,50</sup>. Momenteel wordt in modellen zoals Miterra DS\*<sup>51</sup> gewerkt met emissiefactoren die voor wat betreft de invloed van het waterbeheer drie groepen onderscheidt: groep 1 - grondwatertrappen I en II, groep 2 - grondwatertrappen III, IV en V, en groep 3 - grondwatertrappen VI en VII. De emissiefactoren zijn zo dat vernatting (lagere grondwatertrap) leidt tot een hogere emissie van lachgas uit minerale gronden (zand en klei).



**Figuur 10** Emissiefactoren (als percentage N in N<sub>2</sub>O van de toegevoegde N in de meststof) bij toediening van dierlijke mest, kunstmest, of een combinatie van beide, bij het telen van gras en mais of volggewassen na de oogst op zand- en kleigronden.

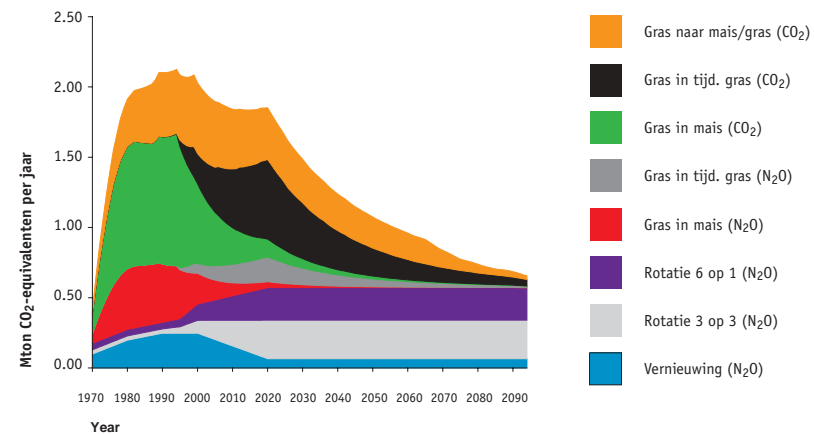
Op veen is de situatie minder eenduidig. Vernatting die leidt tot een overgang van groep drie naar groep twee leidt tot een hogere emissie, maar een vernatting die ertoe leidt dat de grond van groep twee naar groep één overgaat leidt tot een sterke daling van de lachgasemissie. Veen ligt vooral in Holland, Friesland en Oost-Groningen. De grondwatertrappen in Holland en Friesland zijn al hoog. Verlaging van de grondwaterstand zal hier leiden tot verhoging van N<sub>2</sub>O emissie en tot oxidatie van het veen met CO<sub>2</sub> emissies tot gevolg. In Oost-Groningen daarentegen leidt zowel vernatting als verdroging tot een vermindering van de lachgasemissie<sup>52</sup>.

Waterbeheer in veengronden heeft vooral een groot effect op CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> emissies: vernatting leidt tot minder zuurstof waardoor C minder goed mineraliseert, en meer CH<sub>4</sub> geproduceerd wordt. Toch speelt dit pas bij waterpeilen boven de 10cm onder maaiveld<sup>53</sup>. Bij lagere grondwaterstanden wordt methaan dat 'onder water' gevormd wordt al in de bovenliggende laag weer geoxideerd tot CO<sub>2</sub>. Bij verdroging, lagere waterpeilen, wordt veen sterk geoxideerd. De totale CO<sub>2</sub> emissie uit de Nederlandse veengebieden door verdroging wordt geschat op 5-7 Mton CO<sub>2</sub> per jaar (!)<sup>41</sup>. Het peilbeheer heeft hier grote invloed op.

### Landgebruik

Natuur leidt tot minder lachgasemissie dan bouwland en bouwland geeft weer minder dan grasland (op minerale gronden) en dit heeft alles te maken met de intensiteit van bemesting<sup>54,55</sup>. Alleen natuur geeft in NL een emissie van 4490 MgN tegen 12000 tot 17000 Mg voor de verschillende ander scenarios. Door grond terug te geven aan de natuur kan de emissie van lachgas geredu-

**Figuur 11** Simulatie van de verliezen van C en N als CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O (Mton per jaar voor heel NL) uit permanent grasland (min 50 – 100 jaar oud) als gevolg van graslandmanagement. Inbegrepen zijn: omzetting in permanent bouwland, gras – mais wisselbouw, tijdelijk grasland, graslandvernieuwing of gras in rotaties (3 jaar gras – 3 jaar bouwland of 6 jaar gras – 1 jaar bouwland) voor de periode 1970 tot 2000 voor mais en voor 1995 tot 2020 voor tijdelijk grasland en rotaties. De verliezen voor CO<sub>2</sub> zijn verrekend tot nieuwe evenwichtsituaties zijn ontstaan voor de organische stof in de bodem. Er zitten scenario's achter over gerealiseerde omzetting tot 2000 en verwachtingen tot 2020: zo neemt graslandvernieuwing af, neemt grasland in rotatie toe (door toename behoefte in de bollenteelt en ecologisering en biologische landbouw) en neemt de omzetting van gras naar tijdelijk gras nog iets toe.



ceerd worden. De meeste winst per hectare lijkt dan te behalen op de veengronden op de grens van Groningen en Drenthe, zeker als daar ook nog vernet zou worden.

Het graslandbeheer in Nederland heeft ook een grote invloed op de emissies van met name CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O. Scheuren van grasland (100 000 ha per jaar) leidt tot aanzienlijke emissies als gevolg van versnelde afbraak van organische stof en mineralisatie van stikstof<sup>56,57</sup>. De jaarlijkse emissie van lachgas en kool-dioxide door graslandomzetting en herinzaai in Nederland bedraagt 1-1,5 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten. Dit effect houdt tientallen jaren na scheuring aan, en dit soort emissies worden (nog) niet meegenomen in de rapportages van landbouw-emissies. Deze emissie kan aanzienlijk verminderen door: aanpassen van het scheurtijdstip, toepassen van andere technieken (doorzaai), minder scheuren. Om deze vermindering te laten meetellen is het nodig om specifieke emissiefactoren te ontwikkelen voor specifieke maatregelen in het graslandbeheer. Berekeningen geven aan dat een combinatie van management en veranderingen in oppervlakte een aanzienlijke emissievermindering kunnen realiseren (zie figuur 11).

Ook de intensiteit van de melkveehouderij bepaalt mede de broeikasgas-emissies<sup>58,59</sup>. In een deskstudie zijn de verwachte effecten van extensivering en/of weidegang en andere beleidsmaatregelen op de emissies van lachgas en methaan berekend. Extensivering draagt bij aan de vermindering van voorna-

melijk lachgas<sup>60</sup>. Het effect is het grootst in de melkveehouderij op organische bodems in laag Nederland (veengronden). Afname van de beweidingduur leidt eveneens tot een vermindering van de emissies van broeikasgassen. Dit effect wordt deels te niet gedaan door hogere emissies bij mestopslag en toepassing van dierlijke mest. Er is geen zicht op de netto effecten bij een gelijke productie via intensieve of via extensieve veehouderij waarbij de hoeveelheid gebruikte grond varieert.

### Totale emissies lachgas

Nederland rapporteert jaarlijks de berekende emissie van lachgas aan het klimaatsecretariaat van de Verenigde Naties in Bonn (UNFCCC). Voor de berekening hiervan (tabel 1) wordt uitgegaan van emissiefactoren van 1% en 2% voor minerale en organische gronden respectievelijk. In plaats van de N-gift is ook het N-overschot als basis te gebruiken voor de berekening van lachgasemissies, zoals in het INITIATOR model. Dit levert een ~40% hogere lachgasemissie: 35 +/- 16 kton N<sub>2</sub>O per jaar<sup>61,62,63</sup>. De relatief grote onzekerheid wordt bepaald door het grote aantal milieukundige factoren dat invloed uitoefent op nitrificatie, denitrificatie en N<sub>2</sub>O-vorming, en hoe deze variatie verdisconteerd wordt. Op basis van deze verschillen en de in het voorgaande geconstateerde variatie in emissiefactoren is het de vraag of de defaultwaarde (a) geschikt is voor Nederland, en (b) of het niet beter is voor Nederland gebruik te maken van defaultwaarden die onderscheid maken naar bodemtype, landgebruik, en grondwatertrap, zoals bijv gebeurt in Miterra- DS\*<sup>51</sup>.

### Mogelijkheden voor de reductie van broeikasgasemissies

Emissies van broeikasgassen zijn onlosmakelijk verbonden met landgebruik en landbouw. Kern van de vraag is of de landbouw ergens meer broeikasgassen produceert dan strikt nodig en of veranderingen in bedrijfsvoering en bedrijfs-systemen kunnen leiden tot vermindering van die emissies. De landbouw in Nederland is de afgelopen 15 jaar geconfronteerd met een groot aantal beperkende maatregelen in het kader van mest- en ammoniakbeleid, maar ook in het kader van gewasbeschermingsmiddelen, zware metalen, verdroging, natuurontwikkeling en energie. Veel van deze maatregelen hebben ook effect op de uitstoot van broeikasgassen, soms positief soms negatief. Naarmate het aantal maatregelen groter wordt, neemt de kans op interacties toe, en neemt de bereidheid om maatregelen in de praktijk te implementeren af<sup>40</sup>. Integrale verkenningen die over verschillende beleidsvelden heen worden uitgevoerd zijn daarom belangrijk.

\* In Miterra wordt een naar bodemtype, landgebruik, en grondwatertrap gedifferentieerde set emissiefactoren gebruikt. In deze set

lopen de emissiefactoren uiteen van 0.25 tot 2.75% op minerale gronden (zand en klei) en van 0.5 tot 10% op veen.



### Effecten mestbeleid

Met het eerder genoemde INITIATOR model is verkend wat de effecten zijn van varianten van mest- en ammoniakbeleid op de N<sub>2</sub>O-emissie uit de landbouw. Ook is nagegaan wat de effecten zijn indien regionaal de aanvoer van N zodanig wordt beperkt dat juist wordt voldaan aan de milieukwaliteitsdoelstellingen voor grondwater(GW), oppervlaktewater(OW) en ammoniakemissie(NA), zie tabel 2\*<sup>61</sup>.

**Tabel 2**

Overzicht van 8 varianten van totale stikstofaanvoer op de bodem en de daarbij behorende lachgasemissie, in Gg N per jaar. Bij de invulling van varianten is uitgegaan van opvulling van alle ruimte voor aanvoer van N en een optimale ruimtelijke verdeling van mest en N.

Variant	Totale N-aanvoer naar N <sub>2</sub> O-emissie	
	bodem (kton N / jr)	(kton N <sub>2</sub> O / jr)
1 Situatie 2000	950	29
2 MINAS-2003	665	21
3 GW <sup>1</sup>	955	38
4 GW+OW <sup>2</sup>	725	33
5 GW+NA93 <sup>3</sup>	640	21
6 GW+NA50 <sup>3</sup>	531	15
7 GW+OW+NA93	485	14
8 GW+OW+NA50	414	11

<sup>1</sup> N aanvoer beperkt door limiet van 50 milligram nitraat in bovenste grondwater (GW)

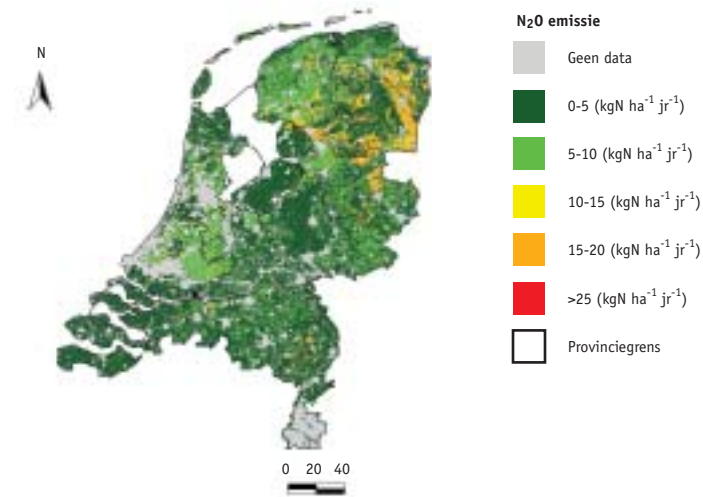
<sup>2</sup> N aanvoer beperkt door limiet van 50 milligram nitraat in oppervlakte water (OW)

<sup>3</sup> implementatie van een ammoniak emissie plafond van 93 of 50 Mg ammoniak per jaar (NA93 en NA50)

De resultaten tonen aan dat maatregelen in het kader van mest- en ammoniakbeleid een fors, maar gecompliceerd effect hebben op de N<sub>2</sub>O emissie. Dit effect is sterker dan bij implementatie van waterkwaliteitsnormen voor nitraat in grond- en oppervlaktewater. Implementatie van MINAS met de verliesnormen voor 2003 leidt tot een vermindering van de N<sub>2</sub>O-emissie van circa 30% ten opzichte van de situatie in 2000, toen een deel van de effecten van MINAS reeds merkbaar was. Implementatie van maatregelen om te voldoen aan de doelstellingen voor beperking van de NH<sub>3</sub>-emissie voor het jaar 2020 leiden tot een halvering ten opzichte van 2000. De onderscheiden varianten hebben zowel effect hebben op de N-aanvoer naar de bodem (activiteiten-data) als op de emissiefactoren<sup>54,55</sup>. De boodschap hier is dat de scenario's doorgerekend met INITIATOR (tabel 2) en met MITERRA<sup>52</sup> (figuur 12) laten zien dat het emissiereductiepotentieel voor lachgas 60-75% is.

\* Het model is toegepast op nationale schaal, waarbij Nederland is onderverdeeld in 2543 plots, volgens de indeling van Boers et al. (1997). Deze plots hebben unieke en bekende combinaties van landgebruik, bodemtype, hydrologie en N- en P-aanvoer

via dierlijke mest, kunstmest, atmosferische depositie, en biologische stikstofbinding. Voor de hydrologische berekeningen is uitgegaan van een 30 jaar gemiddelde neerslag en verdamping.



**Figuur 12** Mogelijke lachgasemissie-verdeling in Nederland na 30 jaar in een scenario waarin de verliesnorm voor stikstof op 150, 50 en 200kg/ha ligt voor respectievelijk gras, mais en overig bouwland<sup>52</sup>.

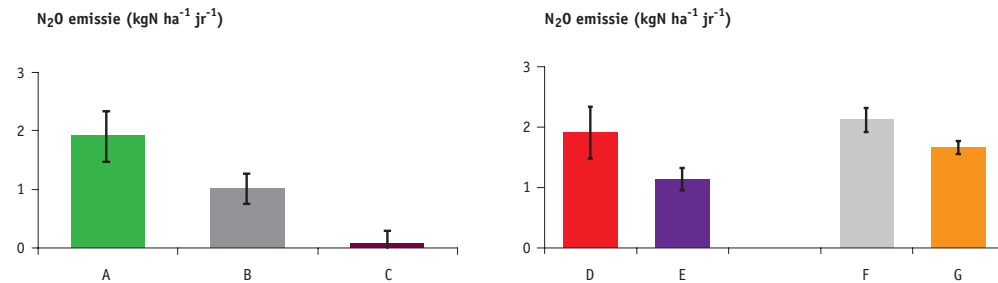


**Figuur 13** Opzet en concept van MITERRA-DS

### Mogelijk additionele maatregelen

Verdere beperking van de emissie van methaan en lachgas uit de landbouw vergt inzicht in de samenhang tussen bronnen en factoren, en kennis om deze bronnen en factoren te beïnvloeden. Emissiebeperking vraagt ook maatwerk, omdat ieder bedrijf anders is en omdat de milieumomstandigheden van plaats tot plaats sterk verschillen. Landbouw systeemanalyses\*\*, waarin de samenhang en interacties tussen sturende factoren duidelijk worden<sup>49</sup>, geven voor een groot aantal opties de potenties voor emissiebeperking en mogelijke afwenteling naar andere ongewenste emissies. Een selectie van die mogelijkheden is vervolgens experimenteel getoetst in model-, laboratorium- en veldstudies. Tenslotte zijn de zo verkregen inzichten verkregen geïntegreerd in het decision support systeem MITERRA-DS<sup>51</sup> (figuur 13).

\*\* Samen met het Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB)



**Figuur 14**

- A kalkammonsalpeter
- B ammoniumsulfaat
- C geen bemesting
- D kalkammonsalpeter één gift per snede
- E kalkammonsalpeter twee giften per snede
- F dunne rundermest twee giften van 30m<sup>3</sup>/ha
- G dunne rundermest drie giften van 20m<sup>3</sup>/ha

Voorbeelden van effectieve maatregelen om de emissie van lachgas uit grasland te verminderen: vervangen van nitraathoudende kunstmest door ammoniumhoudende kunstmest (links) of splitsen van giften van kunstmest en dierlijke mest (rechts)

- De mogelijke pakketten van maatregelen zijn te rubriceren in drie groepen:
- managementmaatregelen en systeeminnovaties
  - technologische maatregelen
  - structurele maatregelen

Bij *managementmaatregelen* en *systeeminnovaties* gaat het om optimalisatie van het gebruik van grond- en hulpstoffen: het toepassen van de juiste werkwijze en methoden, in de juiste samenstelling en op het juiste tijdstip en op de juiste plaats. Deze zogenaamde “best management practices” kunnen per bedrijf anders zijn, vallen deels samen met maatregelen die landbouwbedrijven al moeten nemen om te voldoen aan het mest- en ammoniakbeleid, en zijn deels aanvullend. Veel maatregelen vragen weinig of geen kapitaalinvesteringen, maar wel kennis, inzicht en discipline om alles op de juiste wijze uit te voeren.

Bij *technologisch maatregelen* gaat het om implementatie van nieuwe technologieën zoals bijvoorbeeld mestvergisting<sup>64</sup>, -bewerking en -verwerking, precisiebemesting, meststoffen met nitrificatieremmers, bewerking gewasresten<sup>65,66,67</sup>, waterbeheer<sup>48,50</sup>, biofilters, speciale veevoerders, precisieveevoeding, etc. Deze maatregelen zijn onder bepaalde omstandigheden toepasbaar en vergen investeringen en/of extra kosten vaak niet alleen in hardware maar ook in software (kennis en inzicht).

Bij *structurele maatregelen* gaat het om veranderingen in de allocatie van productiefactoren en om aanpassingen in de omvang en aard van landbouw. Deze maatregelen hebben een drastisch effect op de landbouw. Voorbeelden zijn de opkoopregelingen van vee- en mestproductierechten in het kader van bijvoorbeeld de reconstructie, braaklegging, bufferstroken, extensivering<sup>58,59,60</sup>, omzetten van land gericht op productie naar land gericht op natuurbeheer, waterberging, etc.

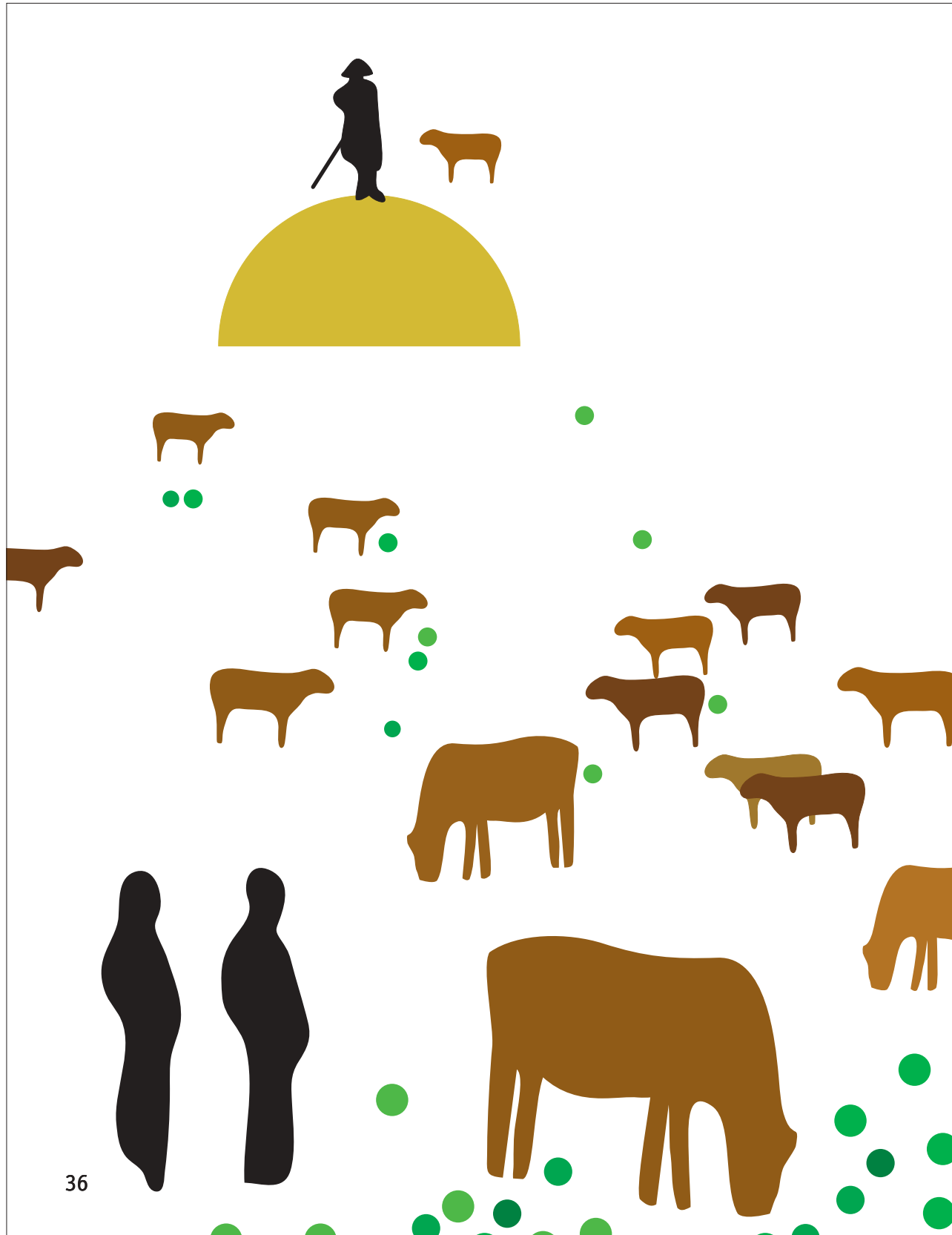
Zo zijn ruim 30 maatregelen om de emissie van broeikasgassen uit de landbouw te verminderen geïdentificeerd en beschreven (tabel 3 en figuur 14). De waarde van het (historisch) emissierecht – bij marktprijzen van € 10 tot 100 per ton CO<sub>2</sub>-equivalenten en lachgasemissies tot 4 kg N/ha (1-4% van de N bemesting) – bedraagt van € 19-195 per ha. Bij de gemeten emissies van 1.9-3.5 kg N per ton gras N leidt dit tot een waarde van het emissierecht van € 9-171 per ton gras. Wanneer emissiehandel zou worden toegestaan, wordt het bij dergelijke bedragen al snel financieel aantrekkelijk om maatregelen te nemen om de broeikasgasemissies terug te dringen op bedrijfsniveau en sectorniveau. Zolang er niet gehandeld kan worden geniet het de voorkeur datgene te doen wat gemakkelijk en goedkoop kan (no-regret) zoals minder bemesten of het kiezen van het mesttype met de laagste emissie.

De optimale mix van maatregelen (management, technologie, structureel) is afhankelijk van de bedrijfssituatie en de regionale context, en verandert in de tijd, omdat zich voortdurend moet aanpassen aan veranderende omstandigheden (markt, technologie, beleid, samenleving). Het MITERRA-DS concept biedt de mogelijkheid een (mix van) opties te analyseren op de gevolgen op regionale en nationale schaal en om via optimalisatie – ook in termen van kosten – tot samenstelling van realistische pakketten van maatregelen te komen.

Maatregel	Gas	Potentiële reductie (Mton CO <sub>2</sub> equivalenten)	Kosten efficiency
Gebruik ammonium- i.p.v. nitraatmeststof op grasland	N <sub>2</sub> O	0,25	hoog
Verder splitsen van stikstofgiften op grasland	N <sub>2</sub> O	0,10	hoog
Vervangen van kunstmestgift door klaver in grasland	N <sub>2</sub> O	0,1-1,0	hoog
Niet scheuren en toepassen van beter graslandmanagement	N <sub>2</sub> O	0,8-1,3	hoog
Toename snijmaisaandeel in rantsoen	CH <sub>4</sub>	0,2	gemiddeld
Mestvergisting (tot 4-5 Mton bij verwerking van alle dierlijke mest)	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	0,7-1,5	neutraal (hoger bij co-vergisting)
Aanzuren mest en lagere bewaartemperatuur varkensmest	N <sub>2</sub> O	0,5-0,8	gemiddeld
Toevoegen nitrificatieremmers aan mest	N <sub>2</sub> O	0,3	in onderzoek
Precisiebemesting	N <sub>2</sub> O	0,2-0,8	laag
Beweiding	N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub>		in onderzoek
<b>Totaal potentieel</b>		<b>3,15-6,25</b>	

**Tabel 3**

Selectie van maatregelen die de emissie van overige broeikasgassen kunnen verminderen en op korte termijn beschikbaar zijn voor toepassing in de landbouw en een schatting van de effectiviteit van deze maatregelen.



Landgebruik als actor en reactor  
in het klimaatsysteem

18  
19 20 21 22 23

## LANDGEBRUIK ALS ACTOR EN REACTOR IN HET KLIMAATSYSTEEM

6 vragen en antwoorden over de onzekerheden in klimaatmodellen, en de kwetsbaarheid van het landelijk gebied voor klimaatverandering



Overbegrazing wordt wel gezien als één van de oorzaken van verwoestijning.

### 18

**Welke verbeteringen in klimaat- en weermodellen, en dus scenario's, kan men verwachten vanwege een verbeterde weergave van de landgebruik/vegetatie feedbacks?**

Een verbeterde weergave van landoppervlakteprocessen in weervoorspellingsmodellen heeft geleid tot betere weervoorspellingen in Europa (en ook in N-Amerika). De verbeteringen hebben en vooral betrekking op een realistischer verdeling van vegetatie en bodem types en op een betere beschrijving van bodemvocht, en van vorst in de bodem en sneeuw voor hogere breedtegraden. De voorspellingen verbeteren vooral op korte termijn en in potentie ook op middellange termijn (seizoensverwachtingen). Klimaatverwachtingen verbe-

### 19

**Wat zijn de consequenties van landgebruiksverandering voor regionaal en lokaal klimaat?**

Landgebruiksveranderingen kunnen effect op regionaal weer en klimaat hebben. Dit effect is het sterkst bij grootschalige veranderingen in meer continentale klimaattypen. Het hydrologisch functioneren van vegetatie-bodemcombinaties (verdampingsregulering) staat aan de basis van dit effect, naast effecten op wolkencondensatiekernen (bv stof). Beter gedocumenteerde voorbeelden van potentiële effecten zijn opwarming en afname van neerslag ten gevolge van tropische ontbossing (Amazone), een afname van neerslag ten gevolge van vegetatiedegradatie in semi-aride gebieden (verwoestijning in de Sahel en Mongolie) en weersveranderingen volgend op grootschalige irrigatie in semi-aride

teren nog niet. De additionele feedbacks ingebracht in klimaatmodellen door inbouw van autonome vegetatieontwikkeling en daarmee geassocieerde biogeochemische cycli leiden in eerste instantie tot additionele onzekerheden. Landgebruik, vegetatieontwikkeling gestuurd door de mens, wordt op dit moment niet in klimaatmodellen meegenomen. In het integrated assessment model IMAGE, wordt landgebruik wel meegenomen, maar is de directe terugkoppeling met klimaat in ontwikkeling.



vraag 18 t/m 23

gebieden of juist drainage van wetlands. Effecten hoeven niet beperkt te blijven tot de regio waar de landgebruiksveranderingen plaatsvinden, maar kunnen ook elders tot veranderingen in weer en klimaat leiden (teleconnecties).

### 20

**In hoeverre zal het mogelijk zijn om uitspraken te doen over klimaatveranderingen die zullen optreden op regionaal niveau binnen Nederland, als basis voor regionale effectstudies?**

Twee factoren maken dat klimaatscenario's geproduceerd door de huidige generatie klimaatmodellen moeilijk direct toepasbaar zijn in lokale en regionale impact studies. Ten eerste is de ruimtelijke resolutie van klimaatmodellen beperkt (>~100km), zodat altijd een vorm van down-scaling nodig is om tot een scenario voor een bepaalde plaats te komen. Ten tweede leiden conceptuele verschillen tussen de verschillende modellen tot verschillende scenario's, en leidt de 'chaotische' dynamiek inherent aan klimaat- en weermodellen tot een vorm van statistische onzekerheid in scenarios. In beide aspecten is de progressie groot. Enerzijds neemt de resolutie van de modellen snel toe, en worden statistische down-scaling methoden steeds beter. Anderzijds convergeren de verschillende modellen qua structuur en dus ook qua scenario's. De verschillen tus-

### 21

**Wat zijn de gevolgen van klimaatverandering voor de verschillende LNV sectoren?**

De gevolgen van klimaatverandering voor Nederland zijn tot dusver hoofdzakelijk kwalitatief geanalyseerd op basis van wetenschappelijke inzichten en leidende meningen, en percepties bij belanghebbenden. Klimaatverandering heeft invloed op de functievulling van het landelijk gebied en dit zal met name in de sectoren water, natuur, bosbouw en landbouw voelbaar zijn. Deze zullen het eerst de gevolgen van klimaatverandering ondervinden. Naast de combinatie beleid-economie als belangrijke drijfveer voor verandering in het landelijk gebied, zal klimaatverandering de manier waarop we het landelijk gebied inrichten en gebruiken mede moeten bepalen. In de laagliggende delta Nederland zal een belangrijk deel van de gevolgen van klimaatverandering (neerslag en zeespiegelstijging) direct of indirect via water verlopen. In het rivierengebied worden nu al aanpassingen getroffen naar aanleiding van recente hoogwater situaties.

## 22

### **Bij verschuiving van klimaatgordels verschuiven ook vegetatiezones. Hoe zit het met de migratiemogelijkheden van soorten binnen de Europese Ecologische Hoofdstructuur?**

Veel plant- en diersoorten in Noord-West Europa zijn mede temperatuurgelimiteerd. Temperatuurverandering zal dus een invloed hebben op de soortensamenstelling van verschillende ecosystemen. Simpel gezegd zullen soorten die hier hun meest zuidelijke grens hebben verdwijnen en ontstaan er kansen voor soorten die hun meest noordelijke grens net ten zuiden van Nederland hebben. In hoeverre plant- en diersoorten ook de mogelijkheden hebben om zich te kunnen verplaatsen is, naast de snelheid van klimaatverandering en de geschiktheid van de aanwezige gebieden, ook afhankelijk van de mate van versnippering. Versnippering verhindert dat weinig mobiele soorten meebewegen met temperatuurverhoging en maakt netwerkpopulaties ook gevoeliger voor weersextremen. Ook zonder klimaatverandering is versnippering een probleem bij het beheer en behoud van natuurgebieden. Of, en voor welke soorten de huidige ecologische hoofdstructuur voldoende mogelijkheden biedt in het licht van klimaatverandering is onduidelijk.

## 23

### **Hoe hangen de verschillende milieuproblemen met het klimaatprobleem samen?**

Klimaatverandering raakt aan vrijwel alle andere milieuproblemen waarmee we te maken hebben. Met betrekking tot de effecten vormt klimaat veelal een additionele stressfactor die problemen van een primair andere oorzaak zal versterken (bijv biodiversiteit). Met betrekking tot de oorzaken geldt dat maatregelen gericht op het tegengaan van klimaatverandering, of gericht op het minder kwetsbaar maken voor de gevolgen ervan, veelal ook een positieve spin-off hebben op andere milieuproblemen en vice versa, bijvoorbeeld luchtverontreiniging. Er zijn echter ook tegenstrijdige belangen, zo hebben bijvoorbeeld maatregelen gericht op de beperking van ammoniakemissies uit de landbouw geleid tot hogere lachgasemissies.



Het verspreidingsgebied van de Barmseis zal mogelijk noordwaarts schuiven ten gevolge van klimaatverandering.

## LANDGEBRUIK ALS ACTOR EN REACTOR IN HET KLIMAATSYSTEEM

### **Inleiding**

Het onderzoek gedaan onder dit thema valt ruwweg in twee hoofdonderwerpen uiteen.

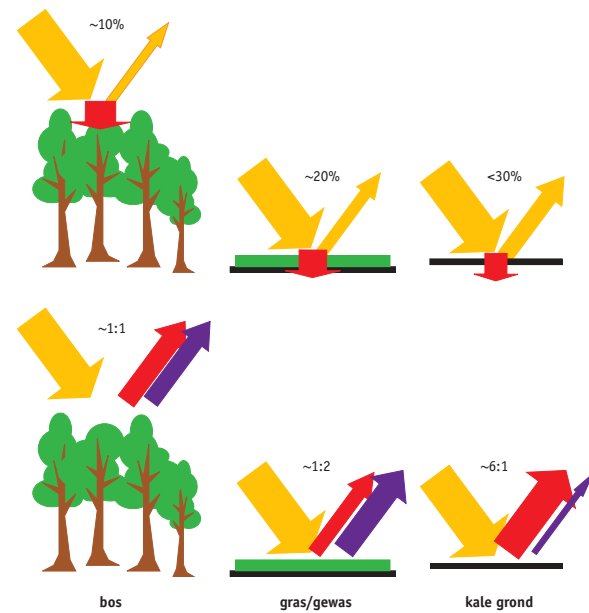
Enerzijds zijn er de onzekerheden in het klimaatsysteem, onzekerheden die deels voortkomen uit een onvolledigheid van onze kennis – waar we verder niet over uitweiden – deels uit het feit dat het klimaat een resultante is van vele processen, die vaak niet lineair op elkaar en/of op zichzelf inwerken. Broeikasgassen vormen slechts één van de drivers in het klimaatsysteem door hun directe effect op de stralingsbalans van de aarde. Als we ons beperken tot die zaken die een relatie hebben met de terrestrische biosfeer dan speelt daarnaast vooral de hydrologische cyclus een rol: het verdampen van water en de vorming van wolken en vervolgens neerslag. Vegetatie controleert in belangrijke mate de verdamping vanaf land; andersom is vegetatie afhankelijk van neerslag. Deze terugkoppeling vormt een belangrijke bron van onzekerheid in zowel mondiaal als meer regionaal klimaat.

Anderzijds is er de kwetsbaarheid en gevoeligheid voor verstoringen van natuurlijke en agrarische ecosystemen. Veel ecosystemen staan onder druk van meerdere stressoren – verzilting, uitputting of juist overbemesting, erosie, bestrijdingsmiddelen, versnippering, etc. – en klimaatverandering vormt een extra belasting. Een belasting die op zich niet fataal hoeft te zijn, maar dat in combinatie met andere stressoren wel kan zijn.

Beide onderwerpen zullen we in meer detail beschouwen.

**De hydrologische cyclus als driver van klimaatverandering**  
Vegetatie controleert in belangrijke mate de verdamping vanaf land. Planten reguleren actief de verdamping door de bladeren (huidmondjes) en met hun wortels tappen ze vaak uit een veel groter waterreservoir dan wat een kale bodem uit voornamelijk zijn toplaag kan verdampen. Daarmee controleren ze tevens de opwarming van de lucht: dat deel van de zonne-energie dat niet wordt gebruikt voor het verdampen van water wordt omgezet in (sensibele) warmte. Bodem en vegetatie warmen op en daardoor ook de lucht. De verhou-

**Figuur 15** Globale verschillen in albedo (boven) en bowen ratio (onder) van verschillende vegetatie typen



ding tussen opwarming en verdamping is de zgn Bowen ratio. Bovendien heeft vegetatie vaak een lagere albedo dan kale grond: vooral bossen absorberen een groter deel van de zonne-energie, zodat er meer beschikbaar is voor verdamping en opwarming, en kaatsen minder terug de atmosfeer in. Elke type vegetatie heeft zijn eigen typische energiebalans (albedo en Bowen ratio, figuur 15)<sup>70,36,71</sup>

Voor de vorming van neerslag zijn drie zaken nodig: voldoende waterdamp, condensatiekernen, en stijgende lucht om de waterdamp zo hoog te brengen en daarmee zover te laten afkoelen dat zij condenseert. Waterdamp kan van elders aangevoerd worden (vanaf zee) of lokaal vanaf het land verdampen. Lucht stijgt door opwarming. Door zijn verdamping regulerende effect beïnvloedt vegetatie beide. Daarnaast heeft vegetatie een invloed op de hoeveelheid condensatiekernen. Enerzijds beperkt vegetatie de vorming van stof, stof dat als condensatiekern dienst kan doen. Anderzijds komt bij de verbranding van vegetatie (natuurlijk, of door mensen aangestoken als hulpmiddel bij ontbossing) veel 'stof' (o.a. roet) vrij dat condensatiekernen kan vormen.

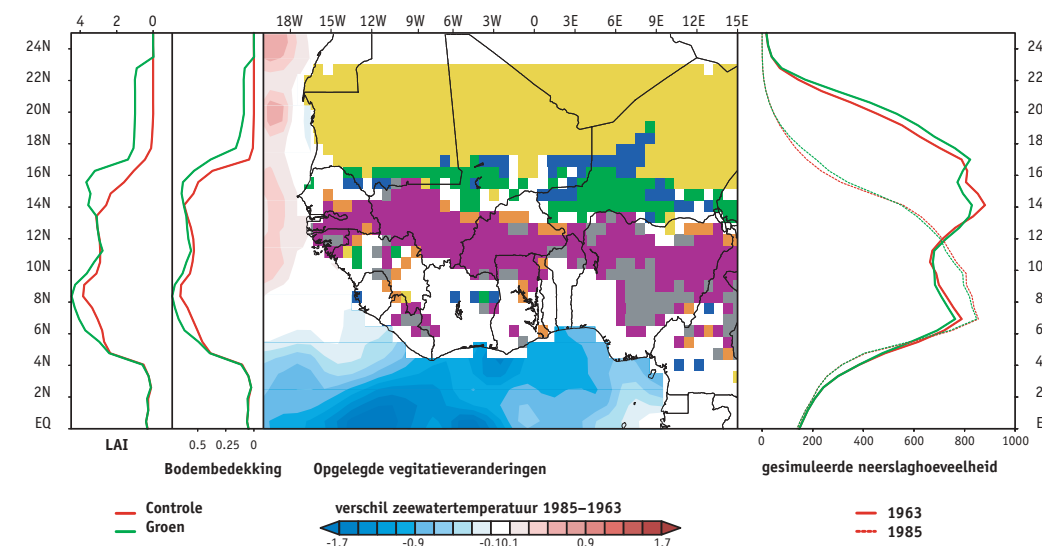
De hoeveelheid neerslag is vaak (mede) bepalend voor het type ecosysteem dat ergens voorkomt. Significante veranderingen in neerslaghoeveelheden en -dynamiek kunnen op korte termijn de vitaliteit van een ecosysteem aantasten, en op langere termijn leiden tot geheel andere ecosystemen.

De hier geschetste verbanden tussen vegetatie, verdamping en neerslagvorming maken dat elke grootschalige landgebruiksverandering kan leiden tot een verandering in neerslagpatronen<sup>72,73,74</sup>. In dit onderzoeksprogramma zijn deze verbanden voor drie regio's nader bestudeerd: de Sahel, het Amazone gebied en (West) Europa. In alledrie de gevallen bestaat de bijdrage vooral uit een verbetering van de vegetatie en bodemparameterisaties en parameters in weer en klimaatmodellen, en in tweede instantie uit analyses aan de effecten van landgebruiksveranderingen op het weer en klimaat.

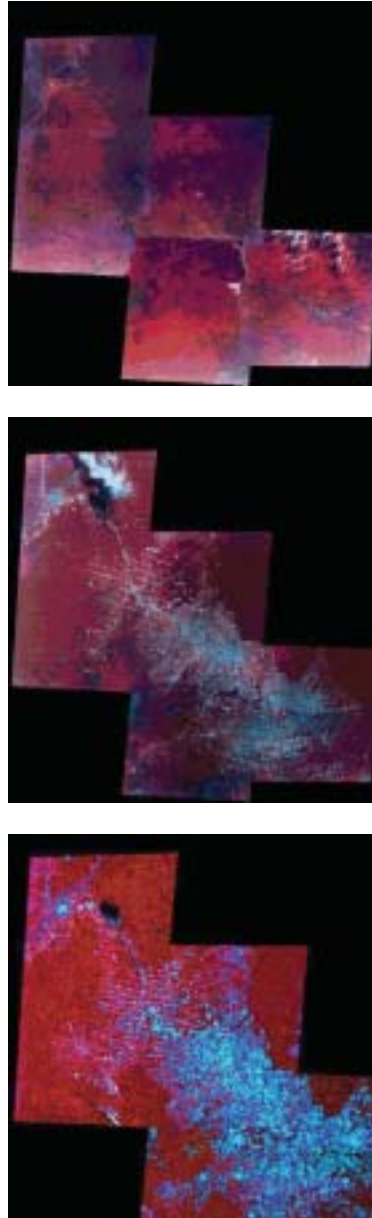
De Sahel heeft de laatste paar decennia geleden onder aanhoudende droogtes. Een veel geponeerde hypothese mbt de oorzaak van deze 'verwoestijning' stelt dat door een te grote bevolkingsdruk en overbegrazing dusdanig veel vegetatie is weggehaald dat de hydrologische cyclus 'afgeknepen' wordt: minder vegetatie leidt tot minder verdamping en daardoor tot minder neerslag, waardoor de vegetatie in dit semi-aride gebied verder onder druk komt te staan. Deze hypothese wordt gestaafd door veel model studies met mondiale klimaatmodellen (GCM's) waarin de effecten van relatief sterke verminderingen van de hoeveelheid vegetatie werden gesimuleerd. Een studie met wellicht meer realistische afnames van de hoeveelheid vegetatie in een gekoppeld mesoschaal land - atmosfeer model laat echter zien dat de neerslag reductie significant kan zijn (~20%), maar dat dit aanmerkelijk minder is dan de variatie die verklaard kan worden uit een wisselende intensiteit van de ZW-Moesson (de belangrijkste regenbrenger). De variatie hierin wordt meer bepaald door zeewatertemperatuurvariaties op de Atlantische oceaan (figuur 16)<sup>75</sup>.

**Figuur 16** Effecten op zonale neerslag hoeveelheden (rechter paneel) van verschillen in oceaanooppervlakte-temperatuur (tussen 1963 en 1985, 'SST') en hoeveelheid vegetatie ('control' vs 'green'). Middelste paneel geeft opgelegde verandering in vegetatiepatroon (land) en SST. Linker panelen geven verschil in bladhoeveelheid ('LAI') en bodembedekking van de twee vegetatiescenario's.

- kort-gras steppe > lang-gras steppe
- savanne > open boslandschap
- woestijn > half-woestijn
- half-woestijn > kort-gras steppe
- open - > gesloten struikgewas
- lang-gras steppe > savanne







**Figuur 17** Tropisch regenwoud wordt op grote schaal gekapt en dit heeft effecten op o.a. de neerslag. De drie satellietbeeldcollages (~ 350x350km) laten de ontbossing (blauwe tinten) zien in respectievelijk 1973, 1991 en 1999 in Rondônia (Brazilië).

De Amazone wordt sinds begin 70-er jaren in hoog tempo ontbost ( $12-28 \cdot 10^3 \text{ km}^2/\text{jaar}$ ), zie figuur 17. De hoeveelheid kooldioxide die hierbij vrijkomt, en de afname aan sinkcapaciteit, draagt op termijn bij aan mondiale klimaatverandering, maar het is niet ondenkbeeldig dat al eerder het klimaat in de regio verandert. GCM studies waarin de effecten van volledige ontbossing van de Amazone werden gesimuleerd laten een sterke afname van de hoeveelheid neerslag en een toename van de temperatuur zien in het gebied zelf, en ook effecten ver buiten Zuid-Amerika. De zorgen hierover hebben geleid tot een grootschalig onderzoek naar het functioneren van het regenwoud in het klimaatstelsel. Gemeten energiebalansen van bos en de graslanden die ervoor in de plaats komen zijn gebruikt om de parameterisaties in een gekoppeld mesoschaal land – atmosfeer model te verbeteren<sup>21,36,76</sup>. Vervolgens zijn de effecten van actuele (gedeeltelijke) ontbossingspatronen gesimuleerd<sup>77,78</sup>. Deze suggereren de mogelijkheid dat bij gedeeltelijke ontbossing de neerslag iets toeneemt, om pas bij verdergaande ontbossing af te nemen.

Beide voorbeelden zijn gesitueerd in een continentaal klimaat waar verdamping vanaf het land een belangrijke bron van atmosferisch waterdamp (en dus neerslag) is, en daarmee kan het potentiële effect van vegetatieveranderingen groot zijn. In het meer maritieme klimaat van West Europa wordt waterdamp voornamelijk vanaf de oceaan aangevoerd. Toch heeft ook hier verbetering van de landcomponent in weermodellen geleid tot betere weersvoorspellingen. Het Europese weermodel (ECMWF) heeft een homogeen landoppervlak: een homogene bodem en vegetatie. Meer realistische bodem en vegetatieparameterisaties, vegetatiedynamiek en landgebruikclassificaties in RACMO en het ECMWF model hebben een effect op gesimuleerd weer dat sterk afhankelijk is van de regio, maar gemiddeld gering. Op het meer continentale deel van Europa is er een duidelijker terugkoppeling verdamping – neerslag<sup>79</sup>. Dit leidt er toe dat hypothetische grootschalige herbebossing van Europa om bijvoorbeeld de  $\text{CO}_2$  sink te vergroten ook het weer kunnen beïnvloeden<sup>3 (hfdstuk 4 en 7)</sup>.

#### Kwetsbaarheid van het landelijk gebied voor klimaatverandering

Het klimaat in Nederland zal naar verwachting warmer en natter worden, met voor beide het grootste effect in de winter. De kans op extremen neemt waarschijnlijk toe, met name de kans op droogte in de zomer, en de kans op zware stormen (zie box). Klimaatverandering vormt vaak een stressfactor bovenop andere factoren die een ecosysteem onder druk kunnen zetten. Klimaatverandering kan ook op verschillende functies van ecosystemen aan-

grijpen. In agrarische systemen is aantasting van de productie meestal de eerste zorg, in natuurlijke ecosystemen meestal de biodiversiteit. Maar ook meer verborgen functies kunnen onder druk komen te staan zoals bijvoorbeeld de hoeveelheid koolstof in de bodem, of de mate van stikstofmineralisatie.

Daarnaast heeft ook de toenemende CO<sub>2</sub> concentratie zelf een effect op vegetatie. In het algemeen zal dit leiden tot een grotere watergebruiksefficiëntie.

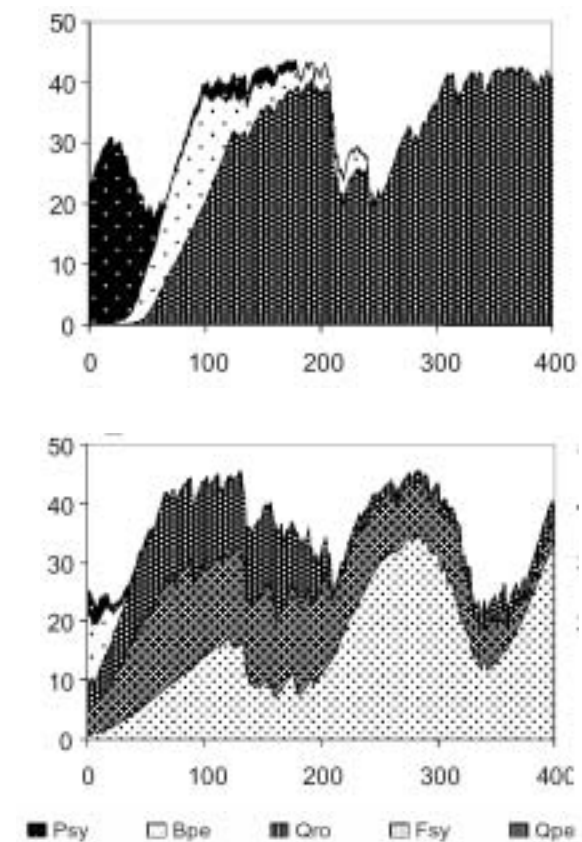
De effecten van klimaatverandering op de functies van het landelijk gebied in Nederland zijn in kaart gebracht door consultaties met experts uit zowel de wetenschap als uit de sectoren zelf<sup>82,83</sup>. Het volgende is dan ook een weerslag van zowel kwantitatieve studies als van meer subjectieve, op kennis en ervaring berustende oordelen van stakeholders.

#### Het klimaat in Nederland in 2050

Het KNMI verwacht<sup>80</sup> een temperatuurstijging van 0,5-2 OC; de winters worden minder streng en de lengte van het potentiële groeiseizoen zal toenemen. De neerslag zal toenemen met 3% tot 2050. Winters zullen gemiddeld natter zijn, zomers droger. De winterneerslag neemt met 6% toe en de extreme winterneerslag wordt geschat op 10%. De gemiddelde zomerneerslag 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). 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. Stroomopwaarts in onze rivieren neemt de zomerneerslag met 15% af, s'winters is het verschil klein<sup>81</sup>.

#### Effecten op bos en natuur

De effecten van klimaatverandering op bossen zijn naar verwachting vrij gering<sup>84</sup>. De potentiële productietoename door CO<sub>2</sub> fertilisatie wordt grotendeel teniet gedaan door negatieve effecten van temperatuurverhoging en zomerdroogte. Schades kunnen toenemen door hogere stormfrequenties en bosbranden ten gevolge van droogtes. Op lange termijn kan de soortensamenstelling veranderen (figuur 18), maar door duurzaam beheer zullen productie-, natuur- en recreatiefuncties niet in gevaar komen<sup>15</sup>. Naar de indirecte effecten van klimaatverandering, zoals bijvoorbeeld brandfrequentie, veranderingen in ziekten- en plagendruk, is nog weinig onderzoek gedaan.



**Figuur 18** Mogelijke verandering in soortensamenstelling als gevolg van klimaatverandering voor de bosreservaten Zeesserveld en Galgenberg. Psy – Den, Fsy – Beuk, Bpe – Berk, Qro – Zomereik, Qpe – Wintereik.

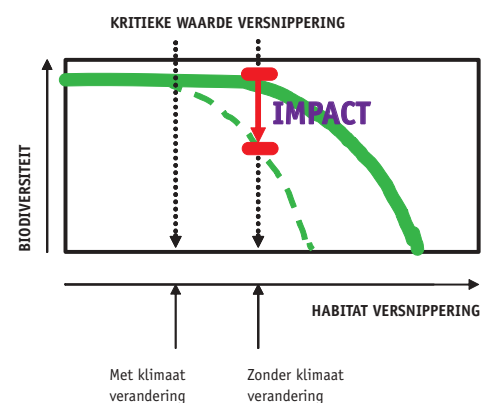
Ook heide-, veen- en andere niet-bos natuurgebieden kunnen lijden onder klimaatverandering, al is dit veel slechter onderzocht dan voor bossen. De soortensamenstelling verandert afhankelijk van het relatieve effect van temperatuurstijging en/of droogtestress. Het eerste kan tot bijvoorbeeld verdere vergrassing van heide leiden, toenemende droogtes gaan dit juist tegen<sup>85</sup>.

Het rivieren en kustgebied zijn waarschijnlijk het meest kwetsbare onderdeel van Nederland. Extremen (hoogwater, stormen) vormen niet alleen een maatschappelijke bedreiging maar kunnen ook natuurwaarden aantasten. Klimaatverandering heeft een sterk effect op piekafvoeren in rivier- en beekdalen. Aquatische ecosystemen lijden onder de gecombineerde directe en indirecte effecten van klimaatverandering. De effecten op terrestrische ecosystemen in beek- en rivierdalen zijn licht positief<sup>86</sup>.



In termen van biodiversiteit is het belangrijkste probleem in Nederland de versnippering van natuur. Klimaatverandering maakt dit probleem alleen maar nijpender (figuur 19)<sup>87</sup>. Klimaatverandering is op te vatten als het (noordwaarts) verschuiven van klimaatzones. Voor natuur hoeft dit niet erg te zijn als zij mee kan schuiven. Echter, versnippering verhindert dat weinig mobiele soorten meebewegen met temperatuurverhoging. Alleen mobiele talrijke soorten kunnen meebewegen. Gevolg: het areaal wordt kleiner, noordelijke soorten verdwijnen, zuidelijke verschijnen niet. Zeldzame soorten worden zeldzamer. Versnippering maakt netwerkpopulaties ook gevoeliger voor weersextremen. Herstel duurt langer, wellicht zo lang dat herstel niet meer optreedt voor de volgende extreme situatie. Gevolgen: het areaal krimpt, er vallen gaten, lokaal worden soorten zeldzamer, en de kans op (lokaal) uitsterven wordt groter. Dit zijn inschattingen. Of en voor welke soorten de (Europese) Ecologische Hoofdstructuur voldoende klimaattolerant zal zijn, zal onderwerp van nieuw onderzoek moeten zijn.

**Figuur 19** Hypothetisch verband tussen habitatversnippering en biodiversiteit onder stabiel klimaat (blauwe lijn) en bij klimaatverandering (blauw gestreept). Klimaatverandering verlaagt waarschijnlijk de drempelwaarde in versnippering waaronder de biodiversiteit terugloopt, met als gevolg een afname van de biodiversiteit (rode pijl).



#### Effecten op landbouw en visserij

Een belangrijk deel van de landbouw heeft een directe relatie met het weer en de seizoenen. Dat klimaatverandering gevolgen zal hebben voor de landbouw zal daarom niemand verbazen<sup>88</sup>. Vooral de akkerbouw en melkveehouderij zullen de gevolgen van klimaatverandering ondervinden. Veranderingen in frequentie en dynamiek van de klimaatsparameters zoals temperatuur en neerslag zullen direct effect hebben op het risico van oogstderving en de kwaliteit van het product<sup>82,83</sup>.

Een toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie kan in Nederland, onder optimale teeltcondities, resulteren in een verhoging van de landbouwproductie met 15-50%; door de te verwachten temperatuurstijging zal dit positieve effect echter geringer zijn (10-30%)<sup>89</sup>. Simulatie-studies en experimenten met grassen, aardappel en tarwe tonen 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 de oogstbare delen en een versnelde veroudering van bladeren.

Ook in de landbouw is water een sleutelfactor. Het watergebruik van de gewassen zal ongeveer constant blijven of licht toenemen afhankelijk van het temperatuurscenario. De bereikbaarheid van het land met zware machines kan bemoeilijkt worden door een nattere herfst en voorjaar. Vooral in biologische landbouw kunnen de gevolgen van ziekten en plagen sterker doorwerken. Verziltig kan in kustgebieden de agrarische productie verminderen. Op beschermde teelten en op bijvoorbeeld de intensieve varkenshouderij zal klimaatverandering nauwelijks invloed hebben, al kan mitigatiebeleid hier wel beperkend gaan werken.

Per saldo lijkt het toekomstige klimaat gunstig voor de fysieke opbrengsten in Nederland. Bij een temperatuurstijging van enkele graden zijn er weinig of geen aanwijzingen dat de landbouw in Nederland erop achteruit zal gaan. Het waterbeheer zal vaak bepalend zijn voor de precieze effecten. Daarbij moet worden opgemerkt dat de economische duurzaamheid van de Nederlandse landbouw vrijwel ontkoppeld is van omgevingsfactoren als bodemgesteldheid of klimaat, maar voor het overgrote deel door landbouwpolitiek en economische variabelen wordt bepaald.

Voor de visserij zullen de effecten van klimaatverandering de bestaande druk op de visstanden verder doen toenemen<sup>90</sup>. De visserij als sector staat reeds onder grote druk: 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. Klimaatverandering kan mondiaal leiden tot grote verschuivingen in areaal en productiviteit van soorten, waarbij de Noordzee extra kwetsbaar zal zijn, maar deze kwetsbaarheid is tegelijkertijd nog slecht bestudeerd. Duurzame visserij zal gebaseerd moeten zijn op een goede kennis van de *interacties* tussen klimaateffecten enerzijds en visserijdruk en habitataantasting anderzijds<sup>91</sup>.



## Klimaatverandering en het landelijk gebied: een integrale kijk

24 25 26 27 28  
29 30 31

## KLIMAATVERANDERING EN HET LANDELIJK GEBIED: EEN INTEGRALE KIJK

8 vragen en antwoorden over opties, instrumenten en aandachtsvelden voor klimaatbeleid in het domein van LNV

### 24

**Hoe groot zijn de emissies uit LNV sectoren t.o.v. andere sectoren, en welke bijdragen hebben dan prioriteit bij reductie?**

De totale emissies van broeikasgassen van het agrocomplex bedragen 41 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten. De emissies van kooldioxide, methaan en lachgas liggen achtereenvolgens op een niveau van 22.7 Mton, 8.7 Mton en 9.6 Mton. De emissies van methaan en lachgas komen vrijwel volledig voor rekening van het primaire productieproces, en vertonen een dalende tendens als gevolg van inkrimpingen van de veestapel en mestproductie. De emissie van CO<sub>2</sub> hangt voor ruim de helft samen met de primaire productie, waarbij die uit glastuinbouw daalt. De resterende (stijgende) helft komt voor rekening van de verwerkende industrie, de toeleverende industrie en agrologistiek.

Volumebeperkingen en toenemende stikstofefficiëntie zijn het meest effectief om de emissie van lachgas en methaan te verminderen. Van de mogelijke opties zijn echter pas weinig in de praktijk getoetst en het succes van deze maatregelen zal sterk afhangen van de inpasbaarheid in maatregelen die worden voorgesteld binnen bijvoorbeeld MINAS. De glastuinbouw kan emissies verminderen onder andere door warmtelevering door derden, hetgeen echter meestal ruimtelijke herstructurering vereist. In de logistiek is het onwaarschijnlijk dat een toenemende efficiency (bijvoorbeeld door ICT toepassingen) de volumegroei door internationalisering kan compenseren.



In agro-logistiek en -industrie nemen de CO<sub>2</sub> emissies nog steeds toe.

### 25

**Wat zijn de belangrijkste landgebruiksopties voor het klimaatbeleid?**

Vanuit een reductie oogpunt is de meest doeltreffende landgebruiksoptie het telen van biomassa als vervanger van fossiele brandstof. Verder is het beheer van koolstof in bos- en landbouwsystemen, gericht op maximalisatie van opslag in bodem en biomassa, een belangrijke optie. Belangrijke discussiepunten hierbij zijn echter hoe een hierop gerichte beheer te optimaliseren, al of niet in combinatie met andere functies, hoe het beheerseffect te onderscheiden van externe processen zoals bijvoorbeeld klimaatverandering, en hoe te garanderen dat de opgeslagen koolstof niet na verloop van tijd weer vrijkomt. Het voorkomen van emissies is



### 27

**Wat is het potentieel van biomassa als duurzame energiedrager in Nederland?**

Eén tiende (10%) van de energievoorziening in Nederland kan van in Nederland geteelde biomassa komen – de helft uit teelt, de helft uit afval/reststromen. Ook in de ons omringende landen zal het aandeel biomassa in de energievoorziening de komende jaren stijgen, zowel voor de elektriciteitsvoorziening als voor transportbrandstoffen. De belangrijkste vragen en onzekerheden hebben betrekking op duurzaamheid (concurrentie met voedselvoorziening en natuur; productie, transport en gebruik), kosten (efficiency diverse opties) en barrières in de huidige regelgeving. Stimuleringsbeleid zal al deze factoren moeten meenemen.

### 28

**Wat zijn de belangrijkste instrumenten voor de ondersteuning van het post-Kyoto beleid?**

Door invoering van een stelsel van verhandelbare emissierechten kan ook de landbouw een bijdrage leveren aan de vermindering van de emissies van broeikasgassen. Systemen met een plafond ('cap and trade') geven de meeste zekerheid over het bereiken van een (efficiënte) emissiereductie. Emissierechten kunnen aan andere economische sectoren buiten de landbouw worden verkocht en met de opbrengst daarvan kunnen de emissiebesparende maatregelen in de landbouw betaald worden. Echter, de administratieve lastendruk van uitvoering is relatief groot en vormt wellicht een belemmering voor invoering.

de derde landgebruiksoptie. Door middel van beheersmaatregelen kunnen bestaande koolstofvoorraden beschermd worden. Als voorbeeld kan men in veengebieden door onder andere waterpeilbeheer en het afzien van ploegen de afbraak van veen vertragen of stoppen. Ook in akkerbouw en bosesystemen kan men via beheersmaatregelen aansturen op het conserveren van de aanwezige koolstofvoorraden.

### 26

**Wat zijn de belangrijkste mogelijkheden om emissies van broeikasgassen in veenweidegebieden te reduceren door aanpassingen in beheer en gebruik?**

Er zijn verschillende opties voor het verminderen van emissies van broeikasgassen uit veenweidegebieden. Verhoging van de grondwaterstand gaat verdere inklinking tegen en vermindert oxidatie en dus CO<sub>2</sub> uitstoot. Pas bij grondwaterstanden op of net onder het maaiveld worden emissies van methaan significant. Lachgasemissies kunnen aanzienlijk verlaagd worden door vermindering van het bemestingsniveau. Ten opzichte van de moderne beheersvorm in het veenweidegebied worden emissiereducties bereikt bij meer historische vormen van veenweidebeheer met een korter groeiseizoen, maar ook bij exploitatie van moerasbos ten behoeve van energieteelt (bijvoorbeeld wilg).

## 29

### Wat zijn de landgebruiksopties van de zogenaamde 'flexibele instrumenten'?

'Joint Implementation' (JI) is één van de Kyoto mechanisme waarmee partijen hun emissie kunnen compenseren door reductie te bewerkstelligen via projecten in andere geïndustrialiseerde landen. Onder dit mechanisme kunnen (her-)bebossingsprojecten en projecten voor biomassa voor energie worden ingezet. Hiervoor liggen de mogelijkheden vooral in Midden en Oost Europa. Het 'Clean Development Mechanism' (CDM) verschilt op twee belangrijke punten van JI: CDM is gericht op ontwikkelingslanden en dient naast een emissiereductie tevens bij te dragen aan de duurzame ontwikkeling van het land waar het project wordt uitgevoerd. Hier ligt een potentieel van 26-58 Mton koolstof voor de eerste commitment periode.

## 30

### Wat zijn de broeikasgevolgen van relevante levenspatronen in onze maatschappij en biedt dit handvaten voor inpassing in het klimaatbeleid?

Dertig procent van het totale energiegebruik in de agroproductieketen vindt plaats in de consumptiefase. Een beter inzicht in voedingspatronen en het gedrag van consumenten kan tot belangrijke aanpassingen in de agrifoodsector leiden, die kunnen bijdragen aan het verminderen van emissies van broeikasgassen.

De belangrijkste opties zijn het terugdringen van de vleesconsumptie, het promoten van streekproducten en

het reduceren van afvalstromen in de keten. Omdat klimaat geen factor is bij de aankoop van levensmiddelen moet gebruik gemaakt worden van de wel belangrijke factoren gezondheid, voedselveiligheid en gemak.

## 31

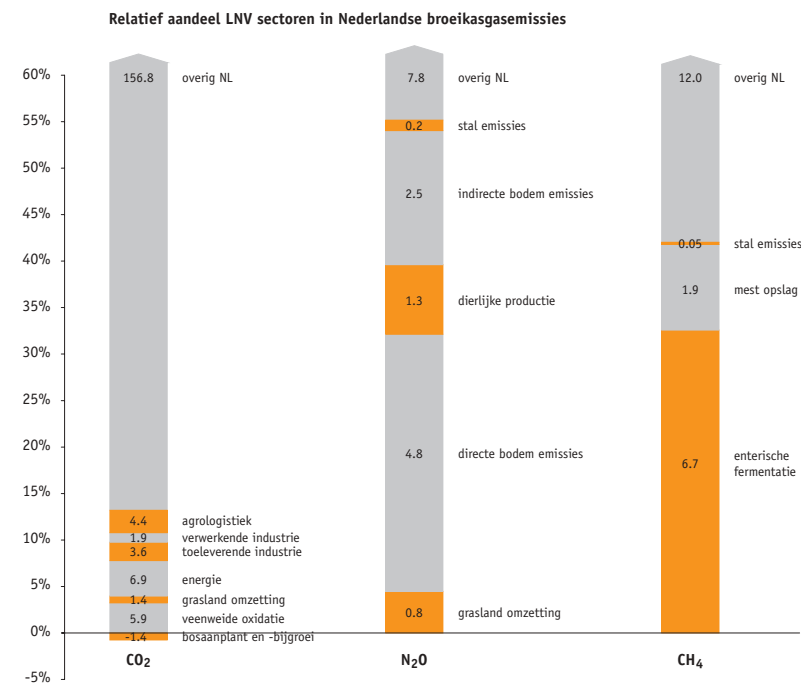
### Wat is de rol van LNV bij het klimaatbeleid?

LNV heeft een formele verantwoordelijkheid bij IPCC werkgroep 2 en bij invulling van het sinksdossier. Op termijn zullen ook sectorale emissiereductie doelstellingen gerealiseerd moeten worden. Naast deze formele rollen hebben vele beleidsdossiers van LNV direct of indirect consequenties voor mitigatie. Naast het al eerder genoemde mestbeleid, hebben ook het vernattingbeleid, bosbeleid en de ecologisering van de landbouw gevolgen voor de emissie van broeikasgassen. Ook zal LNV zich moeten voorbereiden op de gevolgen van klimaatverandering. Belangrijke adaptatieaspecten zijn verbonden aan natuurdossiers zoals EHS en soortenbeleid, en aan landbouwdossiers rond bijvoorbeeld bestrijdingsmiddelen of brakwaterlandbouw.

## KLIMAATVERANDERING EN HET LANDELIJK GEBIED: EEN INTEGRALE KIJK

### Opties en instrumenten voor emissiereductie uit LNV sectoren

De totale emissies van broeikasgassen van het agrocomplex bedragen 41 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten. Dit is exclusief de im- en export van grondstoffen en producten van de agribusiness in Nederland. Wel zijn hier inbegrepen categorieën die weliswaar zijn opgenomen in de nationale UNFCCC-rapportages maar niet direct aan de landbouw worden toegekend, zoals agrologistiek en agro-industrie. Ook zijn inbegrepen categorieën die (nog) niet aan de UNFCCC worden gerapporteerd, zoals oxidatie van ons veenweide gebied<sup>41</sup> en graslandscheuring<sup>56</sup> (figuur 20). De emissies van CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O komen vrijwel volledig voor rekening van het primaire productieproces, terwijl de emissie van CO<sub>2</sub> voor een kleine helft voor rekening komt van de verwerkende industrie, de toeleverende industrie en agrologistiek. Het overige deel betreft het energieverbruik in de glastuinbouw, en CO<sub>2</sub> vrijkomend bij oxidatie van ontwaterde veenweidegebieden. De afgelopen jaren vertonen de methaan- en lachgasemissies uit de primaire productie een dalende tendens. De CO<sub>2</sub> emissies uit de glastuinbouw dalen ook, die uit agro-industrie en vooral agro-logistiek stijgen.



**Figuur 20** Broeikasgasemissies uit LNV sectoren. De kolommen laten het aandeel (in %) van LNV emissies zien in de totale Nederlandse emissies. Getallen in de kolommen geven de absolute emissies in Mton CO<sub>2</sub> equivalenten.

De emissie van broeikasgassen wordt door een aantal ontwikkelingen in de agribusiness beïnvloed:

1. De handel in agrarische producten is op dit moment verantwoordelijk voor ongeveer een derde van alle binnenlandse wegtransport en daarmee ook voor de aan transport gerelateerde emissies. Groei en verdere internationalisering van de agribusiness zal naar verwachting tot een toename van handels- en transportstromen leiden en daarmee tot meer emissies van broeikasgassen.
2. Bij de verdere internationalisering van de agribusiness is wel van belang welke rol de nieuwe technologieën in de agrologistiek gaan spelen. Zo kan de toepassing van ICT in de agribusiness een vermindering van transportstromen tot gevolg hebben en daarmee een bijdrage leveren aan de vermindering van emissies.
3. Ten slotte zijn ook de ontwikkelingen in de kunstmestindustrie van belang. De productie van stikstofmeststoffen gaat gepaard met een hoog aardgasgebruik, vooral voor de buitenlandse markt. Verwacht wordt dat het gebruik van stikstofmeststoffen de komende 10 jaar geleidelijk zal verminderen. Daarmee zullen de emissies van lachgas ook verminderen.

De glastuinbouw heeft meerdere opties voor het verbeteren van de energie-efficiëntie en daarmee het verminderen van emissies:

1. Warmte van derden (warmtekrachtkoppeling, rest- en afvalwarmte) heeft in 1999 een aandeel van 15% in het totale energiegebruik van de glastuinbouw. Het effect op de energie-efficiëntie bedraagt ongeveer 5 procentpunten.
2. Vernieuwing van het kassenbestand door ruimtelijke herstructurering leidt tot een forse energiebesparing.

Voor de glastuinbouw zijn voor 2010 vergaande doelstellingen afgesproken om mede daardoor tegemoet te komen aan de Kyoto afspraken. Daarmee is de sector vooruitstrevend. De invulling is echter nog niet zover. De bedrijven doen aan energiebesparing en verbetering van de efficiency, maar gezien de doelstellingen nog onvoldoende. De doelstellingen liggen nog ver weg en de liberalisering van de energiemarkt zal het bereiken van de doelstellingen verder bemoeilijken\* <sup>92,93</sup>.

De komende jaren zullen de emissies van lachgas en methaan naar verwachting verder dalen. Dit is een gevolg van de afname van de omvang van de veestapel (rundvee) en van de mestproductie (varkens en runderen). Naast

\* Het zwaartepunt voor onderzoek rond dit thema lag in LNV-DWK onderzoeksprogramma 293 "Energiebesparing in beschermde teelten"

effecten via volumebeperking is de realisatie van een toename van de stikstof-efficiëntie naar verwachting het meest effectief om de emissie van lachgas te verminderen. Binnen het Reductieplan Overige Broeikasgassen worden voorstellen voor Goede Landbouw Praktijken ontwikkeld en getoetst in praktijk-situaties voor een hele reeks van emissiereductie opties. Weinig van deze opties zijn tot op heden in de praktijk getoetst en het succes van deze maatregelen hangt in sterke mate af van de bijdrage aan de oplossing van andere problemen binnen de landbouw (zie pagina 31 e.v.).

Veenweidegebieden kennen knelpunten, waaronder de beperkte mogelijkheden voor waterberging, de inklinking van veen en eisen om ecologische waarden in stand te kunnen houden. Er lijken mogelijkheden te zijn om gelijktijdig met het oplossen van deze knelpunten ook een bijdrage te leveren aan het verminderen van emissies van broeikasgassen<sup>94</sup>. Bij lage grondwaterstanden, 40-60 cm onder maaiveld zijn de kooldioxide emissies hoog. De emissies van methaan zijn onder droge omstandigheden en lage grondwaterstand lager dan onder natte omstandigheden en hoge grondwaterstand. Bij een grondwaterstand van 20-40 cm onder maaiveld zijn de emissies gering, terwijl deze bij hogere grondwaterstand oplopen. Daarentegen kunnen lachgasemissies aanzienlijk verlaagd worden door veranderingen in landgebruik, zoals vermindering van het bemestingsniveau. Ten opzichte van de moderne beheersvorm in het veenweidegebied worden emissiereducties bereikt bij historisch veenweidebeheer met een korter groeiseizoen, maar ook bij bijvoorbeeld energieteelt in moerasbossen (wilg).

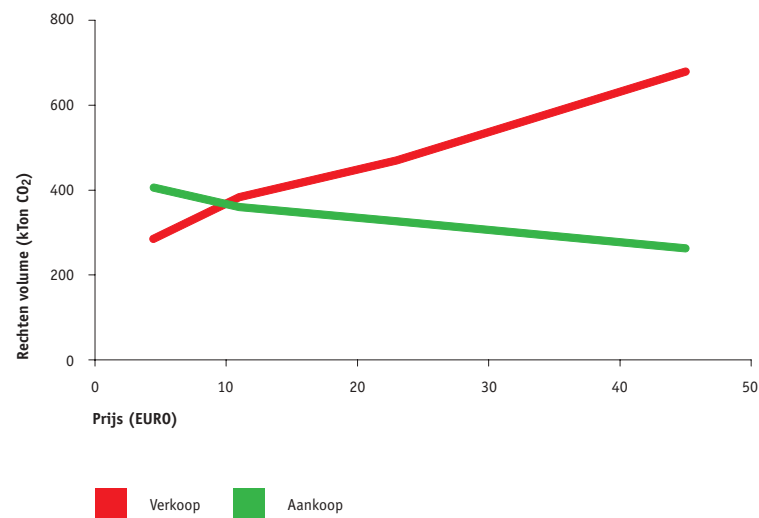
#### Emissiehandel

Emissiehandel kan een belangrijk instrument zijn bij de realisatie van bovengenoemde mitigatieopties<sup>95</sup>. Bij een stelsel van verhandelbare emissierechten krijgen bedrijven het recht om bepaalde emissies te produceren en de rechten daarvan onderling te verhandelen. Bij emissiehandel zullen bedrijven met hoge netto-bedrijfsopbrengsten per eenheid product emissierechten pogen op te kopen. Bedrijven die emissierechten verkopen kunnen met de opbrengst daarvan emissiereducerende maatregelen nemen.

Bij een verlaging van het emissieplafond met 5% kunnen de CO<sub>2</sub>-emissies in de glastuinbouw al snel met 10% verminderd worden. In dat geval worden emissierechten aan andere economische sectoren buiten de landbouw verkocht en met de opbrengst daarvan kan door de glastuinbouw energiebesparende maatregelen genomen worden. In de veehouderij kan met emissiehandel tegen

beperkte kosten een emissiereductie gerealiseerd worden, doordat de grote verschillen in bedrijfsopbrengsten per eenheid emissie een stimulans vormen voor een snelle totstandkoming van een markt. Bedrijven met een laag saldo per eenheid emissie (bijvoorbeeld de vleesveehouderij) zullen emissierechten verkopen, waarbij de opbrengst daarvan een compensatie vormt voor de productievermindering. Sterk gespecialiseerde melkveebedrijven zullen emissierechten aankopen om de productie op peil te houden.

**Figuur 21** Mogelijke prijsontwikkeling van CO<sub>2</sub> emissie rechten bij verschillende markt volumes



Bij invoering van een stelsel van verhandelbare emissierechten moet rekening gehouden worden met langdurige juridische strijd. Vaststelling van de omvang van de emissies van broeikasgassen op bedrijfsniveau vereist een vrij ingewikkeld administratief systeem. Ook moet bedacht worden dat in sectoren als de landbouw en middenstand bedrijfs- en gezinshuishouding niet altijd scherp gescheiden zijn, wat de uitvoering van een systeem kan bemoeilijken. Tot slot is het aantal certificaten dat per bedrijf op de markt wordt gebracht, zelfs in de glastuinbouw, vrij klein waardoor de administratieve lastendruk van uitvoering relatief groot zal zijn.

### Biomassa als duurzame energiedrager in Nederland

De Nederlandse regering wil in 2020 10% van het nationale energieverbruik uit duurzame bronnen halen, waarvan tenminste 50% uit biomassa. In het dichtbevolkte Nederland is de grond zeer duur, wat het aanwenden van landbouwgrond voor een monocultuur van energiegewassen op dit moment onrendabel maakt. Toch zou bij multi-functionele teelt, multi-functioneel landgebruik, agro-forestry, aanwending van residuen, reststromen en organisch afval 10% van de Nederlandse energievoorziening van in Nederland geteelde biomassa kunnen komen (circa 300 PJ, waarvan 150 PJ uit teelt en 150 PJ uit afval/reststromen)<sup>96</sup>.

Aan een grootschalige inzet van biomassa kleven een aantal vragen en onzekerheden. Ook al lijkt de fysieke beschikbaarheid van land voor energieteelt wereldwijd geen probleem, toch is er zorg voor onwenselijke concurrentie met grondgebruik voor de voedselvoorziening en mogelijke aantasting van de biodiversiteit. Ook is niet elke teelt even duurzaam. De vraag is dan hoe om te gaan met dergelijke onzekerheden en verschillen van inzicht.

In een aantal omringende landen (Zweden, Duitsland en Frankrijk) zal het aandeel biomassa in de energievoorziening de komende jaren stijgen, zowel voor de elektriciteitsvoorziening als transportbrandstoffen. Specifieke maatregelen, zoals de vrijstelling van accijns voor biodiesel in Duitsland, zal op afzienbare termijn leiden tot een sterke groei van de invoer van biomassa en groei van de productie in Oost-Europa, Azië en Latijns-Amerika.

De belangrijkste vragen en onzekerheden komen onder meer tot uiting in verschillen van opvatting bij experts zowel als niet-experts en in conflicterende (publieke) beeldvorming over energie uit biomassa. Hierbij spelen met name overwegingen met betrekking tot duurzaamheid en kosten: zorg voor onwenselijke concurrentie met grondgebruik voor de voedselvoorziening en aantasting van de biodiversiteit; zorg voor sociale ontwrichting in de ontwikkelingslanden die aangewezen zijn op grootschalige energieteelten. Naast vraagstukken met een ethische lading bestaan er nog veel onzekerheden met betrekking tot de beste grondstoffen en technologie. Niet elke teelt is even duurzaam. Is het mogelijk om nationaal en internationaal waterdicht te regelen dat de productie, transport en aanwending van biomassa voldoen aan bepaalde duurzaamheidscriteria? Elk beleid ziet zich geplaagd voor de vraag hoe om te gaan met onzekerheden en verschillen van inzicht, zodat er sprake kan zijn van een voortschrijdend proces van gedeelde kennisontwikkeling:

1. Internationaal: het initiëren van de ontwikkeling van mechanismen om internationaal een duurzame productie, transport en aanwending van biomassa te bevorderen.
2. Nationaal: het inventariseren en wegnemen van barrières, te beginnen met een evaluatie van wet- en regelgeving die de penetratie van biobrandstoffen in Nederland in de weg staat.
3. Het bevorderen van onderzoek naar de (kosten) effectiviteit van verschillende biomassa opties.

Alle acties gericht op het maken van goed geïntegreerd beleid op het gebied van biomassa, dienen te streven naar het bij elkaar brengen van de landbouw-, energie- en klimaatwereld<sup>96</sup>.

#### Consumentengedrag en klimaat

Op dit moment heeft ongeveer 20% van het huishoudelijk energiegebruik betrekking op de consumptie van voedsel (en hangt daarmee samen met de emissies van broeikasgassen). De consumptiefase komt overeen met 30% van het totale energiegebruik in de agroproductieketen, evenveel als de bijdrage van de landbouwfase – het andere uiteinde van de keten.

In het klimaatbeleid is het gedrag van de consument onderbelicht. Een beter inzicht in voedingspatronen en het gedrag van consumenten in zijn algemeenheid kan tot belangrijke aanpassingen in de agrifoodsector leiden. Daarmee kan een bijdrage geleverd worden aan het verminderen van emissies van broeikasgassen. In termen van de relatie voeding en broeikasgasemissies zijn de volgende overwegingen belang<sup>97</sup>:

- de keten van vleesproductie heeft een belangrijk aandeel in de voeding-gerelateerde emissies, zodat de beschikbare opties hier belangrijk zijn;
- transport is een belangrijke factor in de voedingsmiddelenketen, en daarmee ook als emissiebron van broeikasgassen
- gezondheid, voedselveiligheid en gemak zijn belangrijke overwegingen voor consumenten bij de aanschaf van voedingsmiddelen. Klimaat is in het aankoopgedrag geen factor van betekenis, zodat klimaatbeleid parallel zou moeten lopen met de profilering van de andere genoemde thema's.

Met de productie en consumptie van vlees zijn hoge emissies van broeikasgassen verbonden. Het stimuleren van vleesvervangers in met name laagwaardige producten lijkt perspectief te bieden om tot lagere emissies te

komen. Om een dergelijke optie te doen slagen zal echter wel aan enkele voorwaarden voldaan moeten worden. Aangezien het marktaandeel vooralsnog minimaal is, zal vooral nagegaan moeten worden wat de belangrijkste belemmeringen voor consumenten zijn om deze producten aan te schaffen. In dit verband zal speciaal aandacht besteed moeten worden aan de vraag of bij grootschalige vleesverdringing een relatie met volksgezondheid gelegd kan worden. In de productieketen zal vervolgens ook rekening gehouden moeten worden met de gevolgen voor hoogwaardige vleesproducten.

Afvalstromen in de keten van producent naar consument zijn omvangrijk. Ruim 30% van de voedingsketen 'lekt' als verliezen weg en huishoudens dragen daaraan in belangrijke mate bij. Een verdere rationalisering in de voedingsketen – die adequaat reageert op veranderingen in voedingspatronen – zou dan ook een belangrijke bijdrage aan het verminderen van verliezen kunnen leveren.

#### De rol van LNV bij klimaatbeleid

##### Mitigatiebeleid

Op dit moment (begin 2003) heeft LNV een formele verantwoordelijkheid bij de invulling van het sinks dossier. Op termijn zullen ook sectorale emissie-reductie doelstellingen gerealiseerd moeten worden. Ook al blijft de formele verantwoordelijkheid voor deelgebieden vooralsnog bij andere departementen (transport en dus agrologistiek bij V&W, industrie bij EZ, overige broeikasgassen bij VROM) toch is het belang van deze dossiers voor LNV evident. Vele beleidsdossiers van LNV hebben direct of indirect consequenties voor de emissies. Internationale afspraken (met name in het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid, en daarin het zuivelbeleid) zijn van belang<sup>98</sup>, maar ook het nationale beleid (direct via het energiebeleid, maar ook indirect via het mestbeleid) is van belang. Een beknopt overzicht van beleidsinstrumenten die van belang zijn voor de hoogte van emissies van broeikasgassen:

- Zuivelbeleid en de groei van de melkgift per koe, waardoor de melkveestapel daalt en de emissies van methaan eveneens dalen. De daling van methaanemissies is naar verwachting geringer dan de daling van de melkveestapel.
- Natuurbeleid, waarbij bosaanplant als sink voor koolstof kan dienen. Vernetting van veenweidegebieden dat tot lagere CO<sub>2</sub> emissies, maar hogere emissies van N<sub>2</sub>O, en in groeiende velden, tot hogere CH<sub>4</sub> kan leiden.

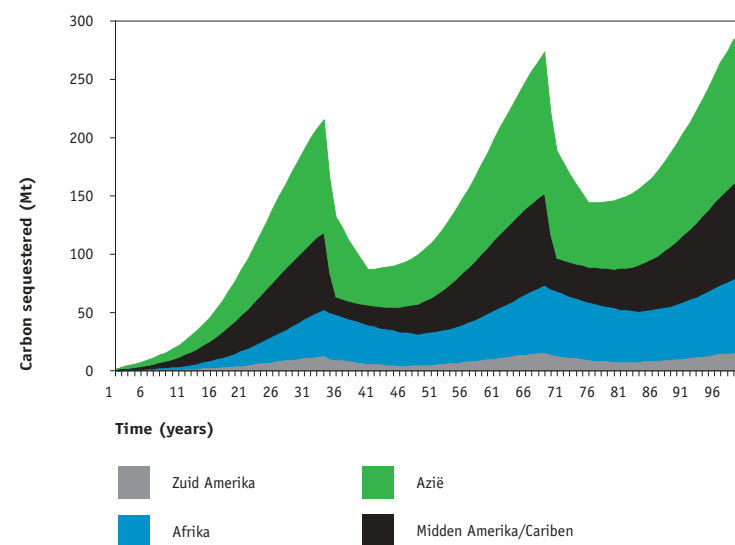


- Energiebeleid, gericht op verbetering van de energie-efficiency, waardoor energiebesparende opties gestimuleerd worden door onder andere fiscale maatregelen.
- Milieu-investeringsaftrek, die een bijdrage levert aan een verbetering van de energie-efficiency.
- Mestbeleid en MINAS, die het (kunst)mestgebruik verminderen en daarmee vooral lachgas en methaanemissies beïnvloeden.
- Extensivering en ecologisering van de landbouw kunnen gunstig zijn voor broeikasgasemissies, maar kunnen ook leiden tot grotere kwetsbaarheid voor klimaatverandering (o.a. plagen).

Een integrale benadering van deze beleidslijnen met betrekking tot mitigatie-consequenties is cruciaal om afwenteling en andere negatieve effecten op aanpalende dossiers te voorkomen, en optimaal gebruik te maken van potentiële win-win situaties en mogelijkheden van efficiencylagen bij implementatie.

Een aparte positie wordt ingenomen door mogelijkheden voor sinks in de 'Joint Implementation' (JI) en 'Clean Development Mechanism' (CDM) mechanismen. Met JI kunnen partijen hun emissie kunnen compenseren door bijvoorbeeld (her-) bebossingsprojecten en projecten voor biomassa voor energie in Midden en Oost Europa. CDM is gericht op ontwikkelingslanden en dient naast een emissiereductie tevens bij te dragen aan de duurzame ontwikkeling van het land waar het project wordt uitgevoerd. In CDM ligt een potentieel van 14-31 Mton koolstof uit (her-) bebossingsprojecten en 12-27 Mton voor bosbeschermingsprojecten, beide voor de eerste commitment periode<sup>99,100,101</sup>.

**Figuur 22** Potentiele koolstofopslag in (her-)bebossingsprojecten onder CDM voor verschillende regio's, gereduceerd voor alle criteria.



### Adaptatiebeleid

Een zekere mate van klimaatverandering is onafwendbaar en naast mitigatie zullen aanpassingen noodzakelijk zijn om de effecten van klimaatverandering op te vangen (adaptatie). LNV is voor Nederland al 'focal point' voor IPCC WG II<sup>91</sup>. Nu is men in Nederland al bezig met aanpassingen in de water sector, daarbij in belangrijke mate gedreven door veranderingen in neerslag patronen en hoeveelheden.

In Nederland zijn met name de sectoren natuur, water en landbouw kwetsbaar. Deze zullen het eerst de gevolgen van klimaatverandering ondervinden. Deze gevolgen hoeven niet in alle gevallen negatief te zijn. Zo kan een kleine temperatuur stijging de productie van landbouwgewassen stimuleren. Natte periodes in het voor en najaar hebben echter een negatief effect op de gewasproductie.

Gegeven de onzekerheden in de geprojecteerde klimaatverandering en de snelheid hiervan zou men kunnen overwegen eventuele veranderingen te accepteren en gaandeweg indien nodig de nodige maatregelen te nemen. Afhankelijk van de onzekerheden en het risico dat men wil of kan nemen, zal men actie ondernemen. Vaak zijn voorzorgsmaatregelen goedkoper dan het geforceerd inzetten van een actieplan of het opruimen van de schade achteraf<sup>91</sup>. Zaak is hier om het 'geen spijt'-principe en het 'voorzorg'-principe efficiënt te combineren.

In een inventarisatie zijn de mogelijke gevolgen van klimaatverandering en hoe hiermee om te gaan voor een aantal sectoren belicht (tabel 4, zie p.64). Duidelijk is dat aanpassingen niet enkel een technische component hebben, maar ook een omschakeling in denken en werken betekenen.

Vanuit een klimaatperspectief is het wenselijk beide beleidslijnen, mitigatie én adaptatie, te combineren binnen een duurzaam ontwikkelingstraject. Een ontwikkelingstraject waarbij rekening wordt gehouden met klimaatverandering zal leiden tot lagere emissies van broeikasgassen en zal tijdig aanpassingen voor kwetsbare sectoren inzetten.



**Tabel 4**

Gevolgen van klimaatverandering voor LNV beleids sectoren en mogelijkheden voor aanpassing. Uit<sup>22</sup>

	<b>Gevolgen van klimaatverandering</b>	<b>Aanpassingsmogelijkheden</b>
<b>Natuurlijke systemen (water, bodem, natuur)</b>	Droge periodes	Flexibel waterpeilbeheer en optimaliseren van waterretentie in de stroomgebieden
	Toename hoogwater in rivieren	Aanleg van waterbekkens, ruimte voor water. Dijkverzwaring
	Zeespiegelstijging	Kustverdediging via harde en zachte structuren
	Omgeving ongeschikt voor huidige natuur	Versnelde invoering van de EHS, ruimte voor de natuur. Natuurbeeld aanpassen
<b>Landbouw</b>	Droge periodes	Aanpassing van de beschikbare rassen en variëteiten is gewenst (droogte tolerantie, grotere stressbestendigheid)
	Nattere periodes	Aanpassen plant- en oogstdata. Verplaatsen van bedrijven
	Verzilting	Verplaatsing van bedrijvigheid bij zoutschade in laag Nederland. Aanpassing van de beschikbare rassen en variëteiten is gewenst (zouttolerantie, grotere stressbestendigheid)
<b>Bosbouw</b>	Schade aan gebouwen en gewassen	Afsluiten van verzekeringen
	Stormschade	Riscospreiding en verhogen van de veerkracht door verhogen van genetische- en soorten-diversiteit van het bos
	Omgeving ongeschikt voor huidige boomsoorten	Acceptatie van zekere veranderingen in soortensamenstelling en waardering voor 'nieuwe' natuurwaarden

## CONCLUSIES

In het voorgaande is een samenvatting gegeven van de belangrijkste resultaten van vier jaar onderzoek. Als we terugkijken naar de vraaginventarisatie aan het begin van het programma dan blijkt dat een deel van de vragen zijn blijven liggen en nog steeds relevant zijn. Uiteraard zijn er ook nieuwe vragen bij zijn gekomen. In het volgende geven we een beknopte analyse van de stand van zaken.

### Mitigatieaspecten

Vier jaar onderzoek rond klimaatverandering en de potentiële *mitigatie*functies van het landelijk gebied heeft een schat aan nieuwe informatie opgeleverd. Kwantitatieve informatie over de omvang van emissies en opname van kool-dioxide, lachgas en methaan, zij het met een onzekerheid die nog erg varieert met het schaalniveau en over de verschillende natuurlijke en agrarische ecosystemen. Proceskennis over de belangrijkste causale verbanden in de totstandkoming van emissies vormen de basis voor ontwerp van, en onderhandelingen rond emissiereducerend beleid<sup>102</sup>. Kennis met betrekking tot de voors en tegens van diverse benaderingen om nationaal en lokaal emissies te monitoren, waarvan we het complementaire karakter beginnen te onderkennen, maar waarvoor een operationeel kader (nog) ontbreekt.

Uiteraard zijn keuzes gemaakt ten aanzien van de onderzoeksthema's. Door de politieke actualiteit rond de totstandkoming en uitwerking van het Kyoto-protocol heeft de nadruk in dit onderzoeksprogramma vrij sterk gelegen bij de sinkfunctie van bossen. Die van andere natuurlijke en zeker ook agrarische ecosystemen heeft minder aandacht gekregen, terwijl het belang daarvan in Nederland in termen van areaal veel groter kan zijn. Ligt bij bossen een groot deel van de koolstof bovengronds opgeslagen, in die andere systemen is het belang van ondergrondse koolstof veel belangrijker, en aandacht voor aspecten van monitoring, potenties voor beïnvloeding en onderliggende processen van koolstof in bos- en landbouwbodems is gewenst. Speciale aandacht hierbij is nodig voor organische bodems. De veenweidegebieden in Nederland vertegenwoordigen een belangrijke – nog nauwelijks erkende – bron van broeikasgassen voornamelijk gestuurd door het water- en mestbeheer. De differentiële effecten van peilbeheer op de emissies van respectievelijk CO<sub>2</sub> en

N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub> zijn onvoldoende bekend. Met betrekking tot sinks is het van belang om onderscheid te kunnen maken tussen de zogenaamde directe effecten, door beheersingrepen veroorzaakt, en meer autonome variaties (door klimaatvariaties, stikstof depositie, CO<sub>2</sub> fertilisatie, etc). Alleen de directe effecten kunnen bij het behalen van reductie verplichtingen meetellen. Het (onder)scheiden van deze effecten is niet eenvoudig, maar zeer relevant.

Met betrekking tot de overige broeikasgassen zit wellicht de grootste onzekerheid in de emissies van lachgas. De emissies van lachgas als gevolg van bemesting in de landbouw zijn zeer variabel in tijd en plaats en derhalve is de totale emissie relatief onzeker. Ook de indirecte emissie van lachgas, na uitspoeling van nitraat of vervluchtiging van ammoniak, is zeer relevant voor Nederland maar de omvang is nog onduidelijk. Het is wenselijk de onzekerheden in de omvang van deze emissies, in relatie tot gebruik van stikstof in de landbouw, te verkleinen om daarmee de effectiviteit van maatregelen te verhogen. De werkelijke emissiefactoren in Nederland wijken vaak significant af van de momenteel gehanteerde IPCC defaultwaarden. Ontwikkeling en gebruik van regio- of grondsoortspecifieke emissiefactoren in relatie tot waterbeheer en gerelateerde strategieën in bemesting, teeltkeuze en bedrijfsvoering, kunnen de rapportages verbeteren en ontwikkeling van mitigatiemaatregelen stimuleren.

Het ontwerp van efficiënte emissiereducerende maatregelen, vrij van ongewenste afwentelingseffecten op andere milieuthema's, vraagt om een integrale benadering van emissies uit bos- en landbouw en natuur. Integraal betekent hier: over alledrie de broeikasgassen (multi-gas) en in de hele keten van teelt, beheer en vervolgens verwerking/gebruik van producten, en in relatie tot de belangrijkste gekoppelde andere milieuaspecten (mest). Voor dit laatste is het nodig wegingsfactoren te ontwikkelen waarmee nu nog ontkoppelde milieumaatregelen tegen elkaar af te wegen. Een analyse van de kosten van a) emissiereducerende maatregelen en van b) een monitoringssysteem om die te volgen, moet worden afgezet tegen baten in termen van de potentieel en praktisch haalbare emissiereductieniveaus. Tot slot is aandacht gewenst voor implementatieaspecten van emissiereducerende maatregelen: keuze voor instrumenten, functieverweving en multifunctioneel landgebruik gericht op koolstofvastlegging, stuurbaarheid, incentives, educatie en evaluatie.

Onder het Klimaatverdrag en het Kyoto Protocol is Nederland verplicht om een monitoringssysteem op te zetten dat voldoet aan specifieke kwaliteitseisen.

Het is nog niet voldoende duidelijk welke eisen er worden gesteld aan (onderdelen van) een dergelijk systeem. Er zijn verschillende benaderingen denkbaar. Enerzijds is Nederland verplicht te komen tot een monitoring van koolstofvoorraden (vooral in de bodem) en tot monitoring van Kyoto Protocol activiteiten waaraan meer eisen worden gesteld. Anderzijds is er de wens te komen tot zogenaamde 'full carbon accounting' waarin alle belangrijke voorraden en fluxen worden bepaald. Het is wenselijk te onderzoeken in hoeverre een integraal (multi-gas, multi-constraint) monitoringssysteem van landgebonden emissies vorm kan krijgen, dat zowel voldoet aan de verplichtingen alsook gebruikt kan worden voor verificatie van gerapporteerde, lokale en diffuse bronnen en maatregelen.

#### Adaptatie

Door de al gesignaleerde sterke aandacht voor de gevolgen van Kyoto afspraken in afgelopen periode zijn de effecten van klimaatverandering en adaptatieopties relatief minder belicht. Veeleer zijn bestaande inzichten, op basis van studies in en buiten dit onderzoeksprogramma en van meer subjectieve, op kennis en ervaring berustende oordelen van stakeholders, vertaald en geconsolideerd voor de Nederlandse situatie en voor LNV beleidsterreinen.

Studies naar de effecten van klimaatverandering op de productiefunctie en daaraan gekoppelde broeikasgasemissies van bos en landbouwsystemen gingen tot dusver over het algemeen uit van a) veranderingen in 'gemiddeld weer', en b) geleidelijke klimaatverandering. De effecten van weersextremen op land- en bosbouwproductie, op natuurwaarden (biodiversiteit) en op de duurzaamheid van sinks is veel minder onderzocht. Daarbij moet onderscheid gemaakt worden tussen directe effecten van bijvoorbeeld neerslagextremen en droogteperiodes in relatie tot waterbeheer, of de invloed van temperatuur- en windextremen op de genoemde functies, en de meer indirecte invloed via bijvoorbeeld toenemende kansen op ziekten en plagen, bosbranden, en dergelijke. De meeste klimaat-, mitigatie- en adaptatiescenarios gaan uit van langzame, geleidelijke veranderingen. Recent wordt echter meer en meer onderkend dat veranderingen meer sprongsgewijs kunnen zijn zowel met betrekking tot het klimaat zelf alsook in de reactie van ecosystemen. Verkennend onderzoek naar de waarschijnlijkheid van dit soort sprongen en hoe daarmee om te gaan is gewenst.

Met betrekking tot de impacts op natuur en biodiversiteit geldt nog meer dan voor land- en bosbouw dat effecten tot dusver meer kwalitatief en in algeme-

ne termen bestudeerd zijn. Waar mogelijk is kwantificering gewenst evenals een analyse van de doorwerking in concrete beleidsterreinen als die van de natuurdoeltypensystematiek, natuurverkenningen, bescherming van rode lijst soorten, etc. Dit vereist ook systematische, klimaatgeoriënteerde analyse van bestaande, en wellicht ontwikkeling van nieuwe monitoringsnetwerken van ecologische graadmeters voor klimaatverandering (terrestrisch en aquatisch).

De diverse aanpassingsopties voor land- en bosbouw (kansen en bedreigingen, gewas- en soortskoezes), en voor natuur (landinrichtings- en beheersvraagstukken) behoeven een meer uitgewerkte analyse in termen van veerkrachtverhoging en implementatietrajecten, inclusief kosten. Om de potentiële resultaten van dergelijk werk ook te kunnen laten doorwerken in beleid is het nodig een systematiek te ontwikkelen waarmee een afweging gemaakt kan worden tussen enerzijds (vroegtijdige) uitvoering en daarmee gepaard gaande kosten van aanpassingsopties, tegen anderzijds de onzekerheden in klimaatprojecties en de daarmee verbonden risico's.

### Integratie

Mitigatie en adaptatieaspecten van klimaatverandering en eventueel daaruit voortvloeiend beleid raken aan veel andere milieu-, productie- en natuurfuncties en dus beleid in het landelijk gebied. De (kosten-) effectiviteit van klimaatbeleid zal bepaald worden door een gerichte (mee-) koppeling van adaptatie- en mitigatiebeleid. Welke typische LNV aspecten wel of niet meegenomen moeten en kunnen worden is nog onvoldoende bekend. Hierbij is het zinvol om zowel de korte termijn (tot 10 jaar) als ook de lange termijn (30 jaar) in de analyse te betrekken gezien de omvang van investeringen in het landelijk gebied en de landbouw. Een dergelijke integratie is ook nodig in de kennisontwikkeling\*.

Dit vraagt om een analyse van de kansen en beperkingen van integratie van klimaatbeleid met bijvoorbeeld het mestbeleid, verdrogingsbeleid en natuurbeleid, maar ook energiebeleid, milieubeleid, etc. Daarvoor zou de ontwikkeling van 'decision support tools' gestimuleerd moeten worden, die ook onzekerheden en variabiliteit meenemen en de mogelijkheid hebben te optimaliseren in het krachtenveld van verschillende beleidsprioriteiten en effecten. Gedacht kan ook worden aan een Deltabenedering voor de ontwikkeling van beleidsinstrumenten voor transitie management rond mitigatie van emissies en adaptatie in de landbouw, bosbouw en natuur in Nederland. Daarbij spelen vragen als bijvoorbeeld: hoe herkennen belanghebbenden hun rol in

\* Een éénmalige analyse van andere onderzoekprogramma's van LNV die klimaatrelevante kennis ontwikkelen en kunnen aanleveren is

te vinden in <sup>103</sup>; in <sup>83</sup> zijn een aantal hoofdpunten van een zogenaamde klimaatagenda LNV geïdentificeerd

klimaatverandering en hoe relateren zij activiteiten aan emissies? Hoe kom je tot implementatie van maatregelen of goed (landbouw) management? Hoe kom je tot implementatie? Hoe waarborg je effectiviteit en continuïteit van maatregelen in de praktijk? Welke nationale landinrichtingsvraagstukken behoeven een 'klimaat-input', welke niet? Om dit soort koppelingen te faciliteren en afwegingen te objectiveren zijn kwantitatieve wegingsfactoren nodig waarmee kosten en baten op verschillende beleidsterreinen tegen elkaar afgewogen kunnen worden. Dit laatste is ook van groot belang als de gewenste verhandelbaarheid van emissies tot stand komt en landbouw en landgebruik daar in gaan deelnemen.

Dit soort overwegingen geldt niet alleen op nationaal niveau, maar ook internationaal waar integratie van internationaal klimaatbeleid (UNFCCC), en bijvoorbeeld biodiversiteitsbeleid (CBD), anti-verwoestijningsbeleid (CCD), waterbeleid, etc, zowel kansen als bedreigingen met zich meebrengen.

Ter invulling van een deel van de hierboven geschetste kennishiaten zijn initiatieven genomen of zijn die in voorbereiding. Dit gebeurt vanuit verschillende gremia zoals ook al in de inleiding beschreven. Een goede afstemming van het klimaatonderzoek vanuit LNV met dat geïnitieerd vanuit andere belanghebbenden in beleid en onderzoek is de beste garantie dat die vragen kosteneffectief behandeld worden, en dat ze ook aandacht blijven krijgen in onderzoek en beleid buiten het specifieke LNV verantwoordelijkheidsdomein.

31

## VERWIJZINGEN

De vetgedrukte referentie aan het eind van elke literatuurverwijzing verwijst naar het document opgenomen op bijgevoegde CD-ROM. Van rapporten zijn integrale kopieën opgenomen (PubX-yf), van tijdschriftartikelen en extern gepubliceerde boeken alleen het abstract en/of inhoudsopgave (PubX-ya). Incidenteel is software (executables) opgenomen (ToolX-ye)

- 1** Van de Geijn & Kuikman (1998) "Verkenning van hoofdlijnen voor het aan klimaatverandering gerelateerde onderzoek van LNV 1999-2003...", AB-DLO, Nota 127. [Pub0-1f](#)
- 2** Vleeshouwers & Verhagen (2001) "CESAR: a model for carbon emission and sequestration...", Report 36, Plant Research International, [Pub1-1f](#)
- 3** Hutjes et al. (2001) "Land use, climate and biogeochemical cycles..." RIVM, Nat. Research Programme Global Air Pollution and Climate Change, Report 410200107 [Pub1-2f](#)
- 4** Schelhaas et al. (2002) "Koolstofvastlegging in bossen: een kans voor de boseigenaar?", Alterra Rapport 553 [Pub1-3f](#)
- 5** Nabuurs et al. (2002) "CO<sub>2</sub>FIX V2.0; manual of a modeling framework for quantifying carbon sequestration...", Alterra rapport 445 [Pub1-4f](#)
- 6** Nabuurs & Schelhaas (2002) "Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO<sub>2</sub>FIX". Ecological Indicators 1 (2002), 3: 213-223. [Pub1-5a](#)
- 7** Masera et al. (2003) "Modelling carbon sequestration in afforestation and forest management projects...", Ecological Modelling 3237: 1-23. [Pub1-6a](#)
- 8** Andreae et al. (2001) "European Studies on Trace Gases and Atmospheric Chemistry as a Contribution to the LBA..." (EUSTACH), Final Report, MPI-Chemie, [Pub1-7f](#)
- 9** Kabat et al. (2003) "The future of the tropical forest carbon sink...", CARBONSINK – LBA Final Report, Alterra, [Pub1-8f](#)
- 10** Dolman et al. (2001) "Assessment of carbon sequestration capacity of far eastern Siberian Larch on permafrost". Final report PIN-MATRA [Pub1-9f](#)
- 11** Kramer et al. (2002) "Evaluation of 6 process-based forest growth models based on eddy-covariance measurements of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O fluxes...", Global Change Biology, 8, 213-230 [Pub1-10a](#)
- 12** Kramer & Mohren (2001) "Long-term effects of climate change on carbon budgets of forests in Europe". Alterra-rapport 194, 290 pp. [Pub1-11f](#)
- 13** Law, .. Dolman et al. (2002) "Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation". Agriculture and Forest Meteorology 113, 1-4: 97-120 [Pub1-32a](#)
- 14** Janssens et al. (2001) "Productivity and disturbance overshadow temperature in determining soil and ecosystem respiration across European forests". Global Change Biology 7: 269-278 [Pub1-33a](#)
- 15** Van der Meer et al. (2001) "Climate Change and Forest Ecosystem Dynamics: ..." RIVM, Nat. Research Programme Global Air Pollution and Climate Change, Report 410200069 [Pub1-12f](#)
- 16** Van der Meer et al. "Assessing climate change effects on long-term forest development..." Forest Ecology and Management 162 (2002), 1: 39-52. [Pub1-13a](#)
- 17** Kramer et al. (2000) "The importance of phenology for the valuation of impacts of climate change on growth of boreal...", International Journal of Biometeorology 44: 67-75. [Pub1-14a](#)
- 18** Price, .. van der Meer et al. "Regeneration in gap models: priority issues for studying forest responses to climate change". Climatic Change 51 (2001): 475-508. [Pub1-15a](#)
- 19** Nabuurs et al. (2002). "Stemwood volume increment changes in European forests due to climate change..." Global Change Biology 8(4): 304-316. [Pub1-16a](#)
- 20** Karjalainen, ..Nabuurs et al. (2002) "Scenario analysis of the impacts of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget" (waar wat??). [Pub1-35a](#)
- 21** Kruijt et al. (2003) "The sustainability of carbon sinks in forests". Alterra Rapport 750 [Pub1-34f](#)
- 22** Aubinet, ..Snijders et al. (2000) "Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests..." Advances in Ecological Research (30), 113-175

- 23** Dolman et al. "The carbon uptake of a mid latitude pine forest growing on sandy soil". Agriculture and Forest Meteorology 111 (2002), 3: 157-170 [Pub1-27a](#)
- 24** Falge, ..Moors et al. (2001). "Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange". Agriculture and Forest Meteorology 107(1): 43-69 [Pub1-30a](#)
- 25** Kruijt et al. (in press) "Aspects of the robustness in eddy correlation fluxes for Amazon rainforest conditions". Ecological Applications. (in press)
- 26** Schelhaas et al. (2002) "Converging estimates of the forest carbon sink. Alterra rapport 631, [Pub1-17f](#)
- 27** Araújo, ..Elbers et al. (2002) "Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest..." Journal of Geophysical Research, 107(D20), 8090, doi:10.1029/2001JD000676. [Pub1-26a](#)
- 28** Valentini (ed.)(2003) "Fluxes of Carbon, Water and Energy of European Forests". Springer-Verlag [Pub1-29a](#)
- 29** Valentini, ..Dolman et al. (2000) "Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests". Nature, 404: 861-865.
- 30** Freibauer (ed) (2002) "CarboEurope, A cluster of projects to understand and quantify the carbon balance of Europe. CarboEurope European Office, MPI for Biogeochemistry, [Pub1-18f](#)
- 31** Baldocchi et al. (2001) "FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability..." Bulletin of the American Meteorological Society, 82, 2415-2434
- 32** Roerink et al. (2001) "Remote sensing mapping of carbon and energy fluxes over forests". Alterra rapport 179. [Pub1-23f](#)
- 33** Falge, ..Elbers et al. "Seasonality of ecosystem respiration and gross primary production as derived from FLUXNET ...". Agricultural Forest Meteorology 113 (2002), 1-4: 53-74. [Pub1-31a](#)
- 34** Andreae, ..Kabat et al. (2000). "Towards an understanding of the biogeochemical cycling of carbon..." Journal of Geophysical Research, 107, 10.1029/2001JD000324
- 35** Dolman et al. "The carbon uptake of a mid latitude pine forest growing on sandy soil". Agriculture and Forest Meteorology 111 (2002), 3: 157-170 [Pub1-27a](#)
- 36** Von Randow, ..Kruijt et al. (2002) "Scale variability of atmospheric surface layer fluxes of energy and carbon..." Journal of Geophysical Research, 107, 8062, doi:10.1029/2001JD000379 [Pub1-28a](#)
- 37** Schelhaas & Nabuurs (2001) "Spatial distribution of regional whole tree carbon stocks and fluxes of forests in Europe". Alterra-rapport 300, 43 pp. [Pub1-24f](#)
- 38** Schelhaas & Nabuurs (2001) "CO<sub>2</sub>FIX at the landscape level – an application for the Veluwe area, the Netherlands". Alterra-rapport 301, 47 pp. [Pub1-25f](#)
- 39** Goodale, ..Nabuurs et al. (2002), "Forest carbon sinks in the northern hemisphere". Ecological Applications 12 3: 891-899. [Pub1-19a](#)
- 40** Nabuurs et al. (2003) "Temporal evolution of the European Forest carbon sink". Global Change Biology. 9: 1-9. [Pub1-20a](#)
- 41** Kuikman et al. (2002) "Stocks of C in soils and emissions of CO<sub>2</sub> from agricultural soils in the Netherlands". Alterra rapport 561. [Pub1-21f](#)
- 42** Kruijt et al. (2001) "Assessing the regional carbon balance: Towards an integrated, multiple constraint approach". Change 56, p9-12.
- 43** Hutjes (eds) (2002) "Regional Assessment and Monitoring of the Carbon Balance within Europe" RECAP 2nd Annual Scientific report, Alterra. [Pub1-22f](#)
- 44** Corré, W. (2001) "Agricultural Landuse and Emissions of CH<sub>4</sub> And N<sub>2</sub>O in Europe". Plant Research International. [Pub11-7f](#)
- 45** Oenema et al. (2001) "Technical and policy aspects of strategies to decrease greenhouse gas emissions from agriculture". Nutrient Cycling in Agroecosystems 60: 301-315
- 46** Velthof et al. (2002) "MITERRA-DSS: a decision support system to optimize the mitigation ...". In: Van Hamet al. (eds.) "Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases..." Millpress Science Publishers, Rotterdam, p. 505 – 506
- 47** Oenema et al. (2001) "Beperking van de emissie van methaan en lachgas uit de landbouw..." Alterra Rapport 380. [Pub11-1f](#)
- 48** Kroes et al. (2000) "Beperking van lachgasemissie door waterbeheer". Alterra rapport 114-6. [Pub11-2a](#)
- 49** Kuikman et al. (2000) "Samenvatting van ROB Cluster 1 "Reductie Lachgasemissie door ontwikkeling van Best Management Practices". Alterra rapport 114. [Pub11-3f](#)
- 50** (2003) "Beperking van lachgasemissie door waterbeheer en bij beregening". Alterra rapport 560-6 [Pub11-4f](#)
- 51** MITERRA tool plus handleiding/document verwijzing [Pub11-5f](#), [Tool11-1](#)
- 52** Wolters et al. (2003) "Emissies van broeikasgassen als gevolg van landgebruik in Nederland – schattingen voor verschillen-

de actoren en sectoren". Alterra rapport (in press)

**53** Jacobs et al. (2003) "Invloed van waterbeheer op gekoppelde broeikasgas-emissies in het Veenweidegebied bij ROC Zegveld". Alterra Rapport 840, [PubII-6f](#)

**54** Velthof et al. (2002) "Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden". Alterra rapport 560-2, [PubII-15f](#)

**55** Velthof et al. (2000) "Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden – een systeemanalyse". Alterra rapport 114-2, [PubII-16a](#)

**56** Kasper et al. (2002) "Beperking van lachgasemissie na scheuren en bij vernieuwing van grasland". Alterra-rapport 560.5, pp. 22 [PubII-8f](#)

**57** Vellinga et al. (2000) "Beperking van lachgasemissie bij het scheuren van grasland – een systeemanalyse". Alterra rapport 114-5 [PubII-9a](#)

**58** Kuikman et al. (2003) "Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland". Alterra rapport 560-1 [PubII-11f](#)

**59** Velthof et al. (2000) "Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland; een systeemanalyse". Alterra rapport 114.1 [PubII-12a](#)

**60** Oudendag & Kuikman (2003) "Effecten van extensivering van de melkveehouderij op de emissies van broeikasgassen". Alterra-rapport 649 [PubII-10f](#)

**61** de Vries et al. 2003 "The fate of nitrogen in The Netherlands II: a quantitative...". Nutrient Cycling in Agroecosystems 66: 71-102

**62** Groenigen et al. (in press) "Nitrous Oxide Emission Factors from Silage Corn Fields Under Different Mineral..." Plant and Soil

**63** Velthof et al. (2002) "Nitrous oxide emissions from silage corn fields using different fertilizer and manure application regimes". Agronomy abstracts. ASA, USA.

**64** Kuikman et al. (2000) "Perspectieven van co-vergisting voor beperking van emissies van broeikasgassen uit de landbouw in Nederland". Alterra rapport 210. [PubII-19a](#)

**65** Dolfining et al. (2002) "Beperking van lachgasemissie als gevolg van toepassing van gewasresten". Alterra-rapport 560-3, [PubII-17f](#)

**66** Velthof & Kuikman (2000) "Beperking van lachgasemissie uit gewasresten – een systeemanalyse". Alterra rapport 114-3, [PubII-18a](#)

**67** Velthof et al. "Nitrous oxide emission from soils amended with crop residues". Nutrient Cycling in Agroecosystems 62 (2002), 3: 249-261

**68** Corré & Kasper (2002). "Beperking van lachgasemissie door gebruik van klaver in grasland..." Alterra-rapport 560.4. [PubII-13f](#)

**69** Corré & Pinxterhuis (2000) "Beperking van lachgasemissie door gebruik van klaver in grasland – een systeemanalyse". Alterra rapport 114-4 [PubII-14a](#)

**70** Wilson, ..Dolman et al. (2002) "Energy partitioning between latent and sensible heat flux ...". Water Resources Research, Vol. 38, NO. 12, 1294, doi:10.1029/2001WR000989 [PubIII-1a](#)

**71** van Wijk et al. "Modeling daily gas exchange of a Douglas-fir forest: comparison of three stomatal conductance models..." Tree Physiology, 20 (2000), 2: 115-122. [PubIII-2a](#)

**72** Kabat et al. (eds), (in press), "Vegetation, Water, Humans and the Climate: a new perspective on an interactive system", Springer Verlag.

**73** van den Hurk et al. "The land-component in the climate system". In: Berdowski et al. (eds.), "The climate system". Balkema publishers, 2001, p. 79-104.

**74** Hutjes et al. (2003) "Land cover and the Climate system". In: Dolman et al. (eds) "Global Environmental Change and Land Use". Kluwer Academic Publishers.

**75** Harding (ed.) (2001) "Modelling the effect of land degradation on climate; Climate and Land Degradation; final report". [PubIII-3f](#)

**76** Alvalá, ..Waterloo et al. (2002) "Intradiurnal and seasonal variability of soil temperature, heat flux, soil moisture..." Journal of Geophysical Research, vol. 107, no. D20, 10.1029/2001JD000599 [PubIII-4a](#)

**77** Dolman et al.(1999) "Meso-scale effects of tropical deforestation in Amazonia: preparatory LBA modelling studies". Annales Geophysicae , 8: 1095-1110

**78** Silva Dias, ..Kabat et al. (2002) "Cloud and rain processes in a biosphere-atmosphere interaction context in the Amazon Region". Journal of Geophysical Research, vol. 107, no. D20, 8072, doi:10.1029/2001JD000335, 2002 [PubIII-5a](#)

**79** Dolman et al. (2000) "Representation of the seasonal hydrological cycle in climate and weather prediction models in West Europe". RIVM, Nat. Research Programme Global Air Pollution and Climate Change, Report 410200046 [PubIII-6f](#)

**80** NOP project "Integrated assessment of vulnerability to climate change and adaptation options in the Netherlands". Informatieblad gevolgen van klimaat-

verandering voor de visserij in Nederland. [PubIII-12f](#)

**81** Parry (ed) (2000) Assessment of potential effect and adaptations for climate change in Europe: The Europe ACACIA project". University of East Anglia. 320pp.

**82** van Ierland et al. (2001) "Integrated assessment of vulnerability to climate change and adaptation options in the Netherlands". RIVM, Nat. Res. Programme global Air Pollution Climate Change Report 410200088. 275 pp. [PubIII-7f](#)

**83** Dolman et al. (Eds). (2000) "Klimaatverandering en het Landelijk Gebied". Altera rapport 082 [PubIII-8f](#)

**84** Kramer (2001) "NOP project Integrated assessment of vulnerability to climate change and adaptation options in the Netherlands". Informatieblad gevolgen van klimaatverandering voor de visserij in Nederland. [PubIII-13f](#)

**85** Gorissen et al. (in press) "Climate change affects carbon allocation to the soil in shrublands". Ecosystems.

**86** van Walsum et al. (2002) "Effects of climate and land-use change on low-land stream ecosystems". Alterra rapport 523, NRP Report 410200067, 208 pp. [PubIII-9f](#)

**87** Opdam & Wascher (2003) "CLASH, Climate Change affecting Landscapes, Species and Habitats..." Alterra report, pp 50 [PubIII-10f](#)

**88** Verhagen (2001) "NOP project Integrated assessment of vulnerability to climate change and adaptation options in the Netherlands". Informatieblad gevolgen van klimaatverandering voor de landbouw in Nederland". [PubIII-14f](#)

**89** Smith, Schapendonk et al. (eds) (2001) "Modelling Agroecosystems under Global Environmental Change (MAGEC)". Final Report. [PubIII-11f](#)

**90** Daan (2001) "NOP project Integrated assessment of vulnerability to climate change and adaptation options in the Netherlands". Informatieblad gevolgen van klimaatverandering voor de visserij in Nederland. [PubIII-15f](#)

**91** McCarthy et al. (eds) (2001) "Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability". IPCC-TARII. Cambridge University Press

**92** van der Knijff et al. (2001) "Energieclustering in de glastuinbouw; Een verkenning". LEI, Rapport 3.01.04; 120 p. [PubIV-5f](#)

**93** Brouwer & Berkhout (red.) (2001) "De klimaatdimensie van voedsel en groen: Opties voor vermindering van de emissies van broeikasgassen". LEI, Rapport 3.01.09. [PubIV-1f](#)

**94** van den Born et al. (2002) "Klimaatwinst in Veenweidegebieden: Beheersopties voor het veenweidegebied integraal bekeken". IVM rapport R-02/05 [PubIV-2f](#)

**95** Brouwer et al. (2001) "Verhandelbare rechten voor de emissie van broeikasgassen in de Nederlandse landbouw: Een verkennende studie". LEI, Rapport 3.01.05 [PubIV-6f](#)

**96** Minnesma & Hirschmüller (2003) "Biomassa, een wenkend perspectief". IVM Rapport R03-02. [PubIV-3f](#)

**97** Kramer & Brouwer (2003) "Voeding en Klimaat". LEI rapport [Pub IV-4f](#)

**98** Berkhout (2003) "De relatie tussen de emissies van broeikasgassen, het GLB en de WTO, een verkennende notitie". LEI, [PubIV-10f](#)

**99** Waterloo et al. (2003) "Criteria, Potentials and Costs of Forestry Activities to sequester Carbon within the framework...". Alterra report 777, [PubIV-9f](#)

**100** Waterloo et al. (2000) "Potenties voor (terrestrische) CO<sub>2</sub> sinkactiviteiten en emissiereducties via internationale..." Alterra rapport 100. [PubIV-7.f](#)

**101** Waterloo et al. (2001) "CDM Forest Sink model Version 2.01: a user guideline". [PubIV-8f](#) en [toolIV-1e](#)

**102** van der Windt & Swart (2001). "Laveren tussen kennis en politiek. De inbreng van Alterra-onderzoek bij de besluitvorming..." BioVista, [PubIV-12f](#)

**103** Dolman et al. (1999) "De klimaatdimensie van LNV en DWK onderzoek: Resultaten van een Quick scan van DLO Onderzoekprogramma's". 18 pp. [PubIV-11f](#)

**Auteurs**

Ronald Hutjes, Mart-Jan Schelhaas, Bart Kruijt, Gert-Jan Nabuurs, Peter Kuikman en Jan Dolfing, allen van Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen. Jan Verhagen, Plant Research International, Wageningen. Floor Brouwer, Landbouw Economisch Instituut, Den Haag.

**Technische realisatie**

Marijn Blok

**Ontwerp boekje**

Femke Tomberg, Amsterdam

**Ontwerp CD-ROM**

Michiel en Tijs Ontwerpers, Arnhem

**Druk**

PlantijnCasparie, Utrecht

© 2003, Alterra, Green World Research, P.O. Box 47, NL-6700 AA Wageningen (The Netherlands).  
phone: +31 317 474700;  
fax: +31 317 419000;  
e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

No part of this publication may be reproduced or published in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the written permission of Alterra.

Alterra assumes no liability for any losses resulting from the use of this document.

ISBN 90.327.0327 7