

Beïnvloeden van landgebonden broeikasgasemissies

P.S. Kroon¹

A.P. Schrier-Uijl²

P.C. Stolk³

F.K. van Evert⁴

P.J. Kuikman⁵

A. Hensen¹

E.M. Veenendaal²

¹Energie Centrum Nederland, Groep luchtkwaliteit en klimaatverandering

²Wageningen UR, Leerstoelgroep Natuurbeheer en Plantenecologie

³Wageningen UR, Leerstoelgroep Aardsysteemkunde en Klimaatverandering

⁴Wageningen UR, Plant Research International, Groep Agrosysteemkunde

⁵Wageningen UR, Alterra, Centrum Bodem

Gepubliceerd in Landschap 2 (2010) 99–109

Beïnvloeden van landgebonden broeikasgasemissies

Veenweidegebieden
Bossen
Broeikasgasemissies
Koolstofopslag

Naar een klimaatneutrale(re) inrichting van het landelijke gebied

Binnen het project *Klimaat voor Ruimte* is gekeken of de broeikasgasemissies in het landelijke gebied beïnvloed kunnen worden. Onderzocht is of mitigatie mogelijk is door emissies terug te dringen in de veenweidegebieden en door de vastlegging van koolstof in bossen te verhogen. Daarnaast is bepaald wat de effecten zijn van het Nederlandse landgebruik in de toekomst (scenario's) op de broeikasgasemissies.

Van de mondiale broeikasgasemissies wordt ongeveer 30% veroorzaakt door (veranderingen) in landgebruik en landbouwactiviteiten (Olivier et al., 2005). In Nederland is dit ongeveer 15%, of 10% als de glastuinbouw niet meegerekend wordt. Om de emissiereductiedoelstelling van 20 tot 30% in 2020 ten opzichte van 1990 in Europa en Nederland te halen is aanvullend beleid nodig om een afname te realiseren van emissies uit landgebruik. Voor effectieve maatregelen is kennis vereist van de omvang van de broeikasgasemissies van de verschillende ecosystemen en van de manier waarop deze emissies worden beïnvloed door zowel het beheer als de meteorologische omstandigheden. Emissieschattingen vertonen grote onnauwkeurigheden door een relatief gebrek aan gegevens. In het laatste nationale inventarisatie rapport (Maas et al., 2008) zijn bijvoorbeeld in de categorie LULUCF (*Land Use, Land Use Change and Forestry*) alleen de CO₂-emissies gerapporteerd. De mogelijke CH₄-emissies van de veenweidegebieden zijn niet gemeten. De N₂O-emissies direct gerelateerd aan de landbouw en de CH₄-emissies die vrijkomen door vee zijn wel meegenomen, maar deze emissieschattingen hebben grote onnauwkeurigheden (onder andere Maas et al., 2008; Nol et al., dit nummer). Ook de onzekerheid over CO₂-emissies en -vastlegging door bossen is hoog. De onzekerheid in de categorie *Forest remaining Forest Land* is 67% en die in *Land converted to Forest Land* 63%. Het is belangrijk om de onnauwkeurigheden van emissieschattingen in deze categorieën te verminderen

gezien het aandeel landbouwgrond in Nederland (57%) en het aandeel bossen (10%).

In het kader van het BSIK programma *Klimaat voor Ruimte* (hierna KvR) is gewerkt aan het verkleinen van de onnauwkeurigheid en onzekerheid in de emissiedata van de landgebonden ecosystemen en aan het ontwerpen van maatregelen om deze emissies te reduceren. Door het combineren van verschillende meettechnieken (Hensen et al., dit nummer) zijn de temporele en ruimtelijke variatie van emissies (Schulp et al., dit nummer) goed in kaart gebracht en mede hierdoor is de onzekerheid verlaagd. Met behulp van unieke datasets kunnen onder meer de volgende twee beleidsrelevante vragen beantwoord worden:

- 1 Wat is het effect van verhoging van de waterstand en verlaging van de landbouwintensiteit op de totale broeikasgasbalans van veenweidegebieden?
- 2 Wat is het effect van de boomsoortkeuze op de lange termijn C-vastlegging in bossen?

In dit artikel worden beide vragen beantwoord. Daarnaast worden de gevolgen van verschillende toekomstscenario's voor het Nederlandse landgebruik en de gerelateerde broeikasgasemissies gekwantificeerd.

Veenweidegebieden

Ongeveer 7% van Nederland, circa 290.000 hectare, bestaat uit veenbodems (Rienks & Gerritsen, 2005) en deze liggen voornamelijk in de provincies Zuid en Noord-Holland, Utrecht en Friesland. Veen wordt gevormd door ac-

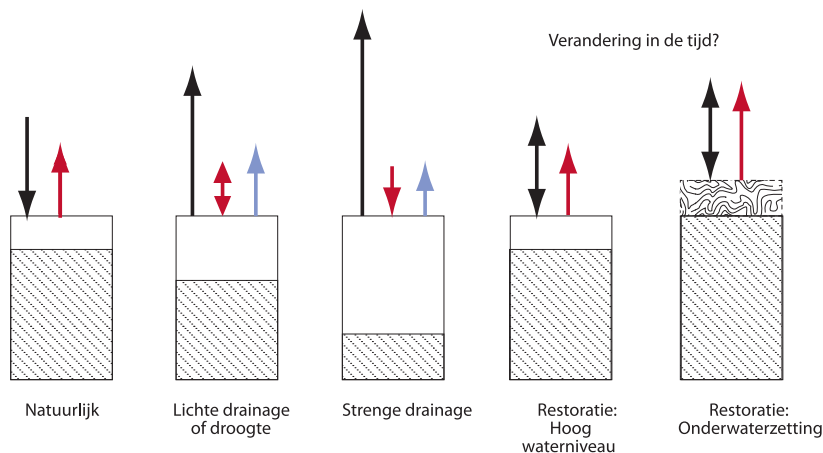
PETRA KROON,
ARINA SCHRIER-UIJL,
PETRA STOLK, FRITS
VAN EVERT, PETER
KUIKMAN, ARJAN
HENSEN & ELMAR
VEENENDAAL

Ir. P.S. Kroon Energie Centrum Nederland, Groep luchtqualiteit en klimaatverandering, Westerduinweg 3, 1755 ZG Petten
p.kroon@ecn.nl
Ir. A.P. Schrier-Uijl Wageningen UR, Leerstoelgroep Natuurbeheer en Plantenecologie
Drs. P.C. Stolk Wageningen UR, Leerstoelgroep Aardsysteemkunde en Klimaatverandering
Dr. Ir. F.K. van Evert Wageningen UR, Plant Research International, Groep Agrosysteemkunde
Dr. P.J. Kuikman Wageningen UR, Alterra, Centrum Bodem
Drs. A. Hensen Energie Centrum Nederland, Groep luchtqualiteit en klimaatverandering
Dr. E.M. Veenendaal Wageningen UR, Leerstoelgroep Natuurbeheer en Plantenecologie

Foto **Nynke Schulp** Verzet in de Krimpenerwaard tegen het Veenweidepact dat werkt aan onder meer de aanleg van nieuwe natuur.

Figuur 1 de relatieve netto uitwisseling van CO₂ (zwarte pijl), CH₄ (rode pijl) en N₂O (blauw) in veenweidegebieden met verschillende beheerregimes en grondwaterstanden. De gestreepte oppervlakken geven het bodemgedeelte aan dat verzadigd is met water en de golven geven een onder water gezette situatie weer (gebaseerd op Drösler *et al.*, 2008).

Figure 1 relative magnitudes of net exchange of CO₂ (black arrow), CH₄ (red arrow) and N₂O (blue arrow) in peat lands with different management regimes and ground water tables. Lined areas symbolize saturated part of the profile and waves indicate flooding (based on Drösler *et al.*, 2008).



cumulatie van organisch materiaal dat niet of onvolledig is verteerd. Organisch materiaal wordt in de bodem afgebroken onder zowel zuurstofrijke (aërobe) als zuurstofarme (anaërobe) omstandigheden. Hoe meer zuurstof des te sneller vindt het afbraakproces plaats. Om landbouw te kunnen bedrijven op veen, wordt op grote schaal de waterstand in de veenweidegebieden verlaagd. Deze ontwatering versnelt de afbraak van het veen en varieert van 5 tot 12 mm per jaar (Rienks & Gerritsen, 2005; De Vries *et al.*, 2008), afhankelijk van de ontwateringsdiepte en de dikte van een eventueel kleipakket op het veen. Bij de afbraak (oxidatie) van veen in veengronden komen koolstofdioxide (CO₂) en lachgas (N₂O) vrij. De broeikasgasemissie van veenweidegronden bedraagt ongeveer 4% van de totale Nederlandse emissie van broeikasgasen (Rienks & Gerritsen, 2005). Deze emissies van CO₂ en mogelijk N₂O zouden verminderd kunnen worden door het opnieuw vernatten van de veenweidegebieden. Hoeveel de totale broeikasgasemissie precies zal veranderen is echter onzeker; de emissie van methaan (CH₄) zal waarschijnlijk toenemen in vernatte systemen. En welis-

waar levert CO₂ in aantal kilogrammen de belangrijkste bijdrage aan de totale emissie, maar het opwarmingseffect van de andere twee gasen is veel groter dan dat van CO₂. Het netto opwarmingseffect van 1 kg CH₄ en N₂O is gelijk aan de opwarming van respectievelijk 25 kg en 298 kg CO₂ (IPCC, 2007). De vraag is dan hoe bij een transitie van ontwaterd veen naar vernat veen de netto emissiebalans van alle broeikasgasen, waarbij CH₄ en N₂O worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten, uitvalt (figuur 1).

In het KvR programma is onderzocht of een veenweidegebied van een bron (*source*) van broeikasgasen in een opslag (*sink*) kan veranderen als het landgebruik van de veenweidegebieden verandert van intensief beheer, met bijbehorende lage waterstanden, naar extensief beheer met een dynamische waterstand, en van extensief beheer naar een natuurgebied met permanent hoge grondwaterstanden.

Meting

Drie veenweidegebieden (zie tabel 1) zijn geselecteerd met vergelijkbare bodem en verschillend landgebruik variërend van hoge tot lage managementintensiteit. De polder Oukoop bestaat uit intensief bemest productiegrasland met melkveehouderij. Grote delen van het jaar staat het grondwaterpeil gemiddeld 50 centimeter onder maaiveld. De polder Stein is een extensief, niet bemest hooiland met weidevogelbeheer en variërend slootpeil. De derde polder, Horstermeer, is een voormalige intensief beheerde polder waar sinds vijftien jaar geen enkel management heeft plaatsgevonden. Momenteel is het een verruigd natuurontwikkelingsgebied met riet en zegges als dominante vegetatie.

De uitwisseling van CO₂, CH₄ en N₂O zijn bepaald met behulp van kamermetingen en eddy-covariantie flux metingen (tabel 2). Een beschrijving van de meettechnieken is te vinden in Kroon *et al.* (2007), Veenendaal *et*

Locatie	Horstermeer	Stein	Oukoop
	51°14'N, 5°04'E	52°01'N, 4°46'E	51°02'N, 4°046'E
Omschrijving	natuurontwikkelingsgebied sinds 11 jaar	weidevogelgebied sinds 20 jaar	intensieve melkveehouderij
Management	wordt niet gemaaid; geen dierlijke mest en kunstmest toediening	maaïen drie keer per jaar; geen dierlijke mest en kunstmest toediening	maaïen vier keer per jaar; dierlijke mest en kunstmest toediening
Waterniveau	0 tot 40 cm beneden het bodemoppervlak	dynamisch waterpeil; 15 tot 20 cm beneden het bodemoppervlak in de winter en 50 cm in de zomer	meestal ca. 50 cm beneden het bodemoppervlak, 's winters hoger.

Tabel 1 De hoofdkenmerken van de drie veenweidegebieden waarvoor de totale broeikasgasbalans is bepaald (gebaseerd op Hendriks *et al.* (2007) en Schrier-Uijl *et al.* (2010a).

Table 1 Main characteristics of the three investigated peat areas for which the total greenhouse gas balance is determined (based on Hendriks *et al.* (2007) and Schrier-Uijl *et al.* (2010a).

al. (2007), Hendriks *et al.* (2007), Hendriks *et al.* (2008), Schrier-Uijl *et al.* (2010b) en Hensen *et al.* (dit nummer). De metingen zijn uitgevoerd in de periode 2005-2008. De betrouwbaarheid van de metingen is gevalideerd door een vergelijking van de twee gebruikte technieken, de kamertechniek en de eddy-covariantie flux techniek in Oukoop. De emissieschattingen bepaald met beide technieken kwamen goed overeen (Schrier *et al.*, 2010b). De jaarbalansen van emissies zijn bepaald voor de drie broeikasgassen in de drie afzonderlijke polders.

Emissies

De CO₂-emissie is het hoogst in de intensief beheerde polder, in de andere twee polders is sprake van CO₂-opname (figuur 2). Uit aanvullende data is gebleken dat de extensief beheerde polder Stein niet in alle jaren een (kleine) sink is. Gemiddeld is deze polder een CO₂-bron (Schrier-Uijl *et al.*, in voorbereiding). De CH₄-emissie is in de beheerde polders lager dan in de polder Horstermeer met hersteld natuurlijk waterbeheer. De N₂O-emissie is significant hoger in de intensief beheerde polder dan op de andere twee locaties.

Uit deze metingen is afgeleid dat in de intensief en extensief beheerde polders Oukoop en Stein de netto ter-

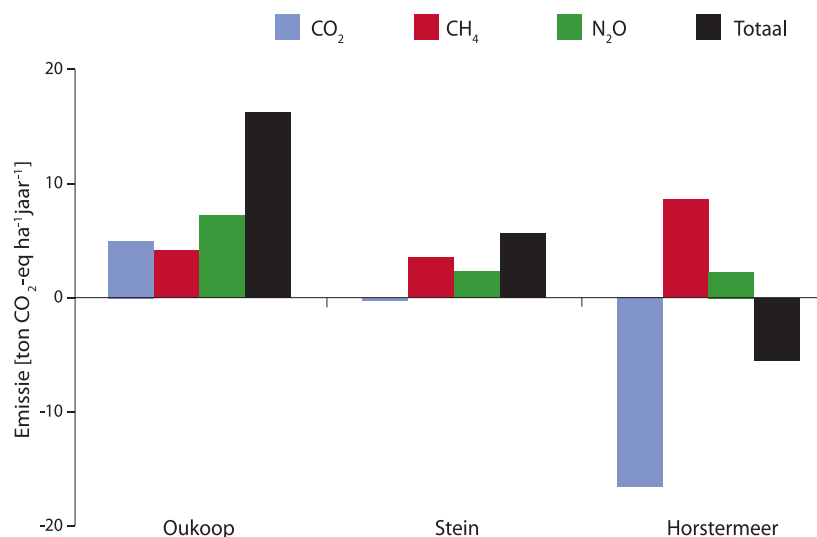
restrische broeikasgasemissie respectievelijk 16,2 en 5,6 ton CO₂-equivalenten hectare⁻¹ jaar⁻¹ bedraagt en in het gerestaureerde veenweidegebied Horstermeer een netto opname van 5,5 ton CO₂-equivalenten hectare⁻¹ jaar⁻¹ plaatsvindt (Hendriks *et al.*, 2007; Veenendaal *et al.*, 2007; Schrier-Uijl *et al.*, 2010a; Kroon *et al.*, 2010; Schrier-Uijl *et al.*, 2010b; Schrier-Uijl *et al.*, in voorbereiding). CH₄ en N₂O veroorzaken samen meer dan tweederde van de totale terrestrische emissie in CO₂-equivalenten in Oukoop (Kroon *et al.*, 2010), zie figuur 2.

De emissiewaarden van de beheerde polders Oukoop en Stein zijn significant hoger dan de waarden weergegeven in Van den Born *et al.* (2002) en Burgerhart (2001). Het verschil wordt voornamelijk veroorzaakt door de hogere emissiewaarden van de niet CO₂-broeikasgassen CH₄ en N₂O. In de genoemde studies worden de CH₄-emissies bijvoorbeeld verwaarloosbaar klein verondersteld terwijl onze landschapsvergelijking laat zien dat de CH₄-emissies dat niet zijn. Voor Oukoop en Stein zijn ze respec-

Locatie	Kamertechniek	Eddy covariantie techniek
Oukoop	CO ₂ , CH ₄ & N ₂ O	CO ₂ , CH ₄ & N ₂ O
Stein	CO ₂ , CH ₄ & N ₂ O	CO ₂
Horstermeer	CO ₂ , CH ₄ & N ₂ O	CO ₂ & CH ₄

Tabel 2 Overzicht van de gebruikte meettechnieken en gemeten gassen.

Table 2 Overview of used measurement techniques and measured gases.



Figuur 2 Broeikasgas-emissie van drie veenweidepolders in Nederland (Velthof *et al.*, 1997; Hendriks *et al.*, 2007; Veenendaal *et al.*, 2007; Schrier-Uijl *et al.*, 2010a; Kroon *et al.*, 2010).

Figure 2 Greenhouse gas emission of three peat areas in the Netherlands (Velthof *et al.*, 1997; Hendriks *et al.*, 2007; Veenendaal *et al.*, 2007; Schrier-Uijl *et al.*, 2010a; Kroon *et al.*, 2010).

tievelijk 165 en 167 kg CH₄ hectare⁻¹ jaar⁻¹ (Schrier-Uijl *et al.*, 2010a; Kroon *et al.*, 2010). Ook de waargenomen N₂O-jaaremissie in de extensief beheerde polder is veel hoger dan de gebruikte waarde in Van den Born *et al.* (2002) en bedraagt 24 kg N₂O hectare⁻¹ jaar⁻¹ (Kroon *et al.*, 2010) tegen 7 kg N₂O hectare⁻¹ jaar⁻¹, geschat door Van den Born *et al.* (2002).

De CH₄-emissies in Oukoop en Stein zijn voornamelijk afkomstig van de sloten (Kroon *et al.*, 2010; Schrier-Uijl *et al.*, 2010a; b; c). Slootemissies lijken direct gerelateerd aan landgebruik. Schrier-Uijl *et al.* (in voorbereiding) laten zien dat de CH₄- en ook de CO₂-emissies van sloten afnemen als de nutriëntenrijkdom van het water afneemt. Aangezien de aanvoer van organische stof en nutriënten sterk afhankelijk is van mestgift in de directe omgeving (Van Beek *et al.*, 2008) is het aannemelijk dat als de mestgift verminderd wordt ook de CH₄-emissie uit sloten vermindert. Meer onderzoek is nodig om de belangrijke rol van sloten en meren bij emissies in kaart te brengen

vooral ook omdat waterberging in het veenweidegebied in de komende periode meer aandacht krijgt als adaptatiemaatregel voor klimaatverandering.

De N₂O-emissies worden grotendeels veroorzaakt door het toedienen van dierlijke mest en kunstmest. De metingen laten zien dat de huidige waarden voor emissiefactoren die in Nederland gebruikt worden de directe N₂O-emissies uit veenweidegebieden waarschijnlijk onderschatten. De directe N₂O-emissies van veenweiden zijn hoger dan van andere, minerale niet-veenbodems. Kuikman *et al.* (2006) geven bijvoorbeeld een waarde voor de directe emissiefactor EF₁ (verhouding tussen geëmitteerde N₂O-N en toegevoegde N) van 0,55%, 1,24% en 3% voor respectievelijk zand, klei en veen. Van Beek *et al.* (2009) laten zien dat de N₂O-emissie in veenweiden sterk afhankelijk is van het niveau van de grondwaterstand.

Naast veld- en slootemissies zijn er directe emissies vanuit de melkveehouderij in het veenweidegebied. De omvang van deze emissies kan tot op zekere hoogte worden beperkt door maatregelen op bedrijfsniveau. Interessant hierbij is dat door de koppelingen tussen bodem, gewas en dierlijke productie een maatregel het effect kan hebben dat hij de emissie van het ene broeikasgas terugdringt en die van een ander verhoogt. In een modelstudie is het effect bepaald op de netto emissie per hectare van een aantal maatregelen (Van Evert *et al.*, 2007). Verhoging van de productiviteit van het melkvee heeft het grootste effect op directe emissie (figuur 3). Een hoog productief rund gebruikt een groter deel van het opgenomen voer voor melkproductie dan een minder productief dier en produceert daardoor minder CH₄ per kilogram melk. Verder kunnen aanpassingen van rantsoen, additieven in het voer en aanpassingen van mestopslag en stallen de CH₄-emissie van rundvee verminderen. Nader onderzoek naar deze mogelijkheden loopt in andere programma's.

Omdat bedrijfsgerelateerde emissies een belangrijk deel

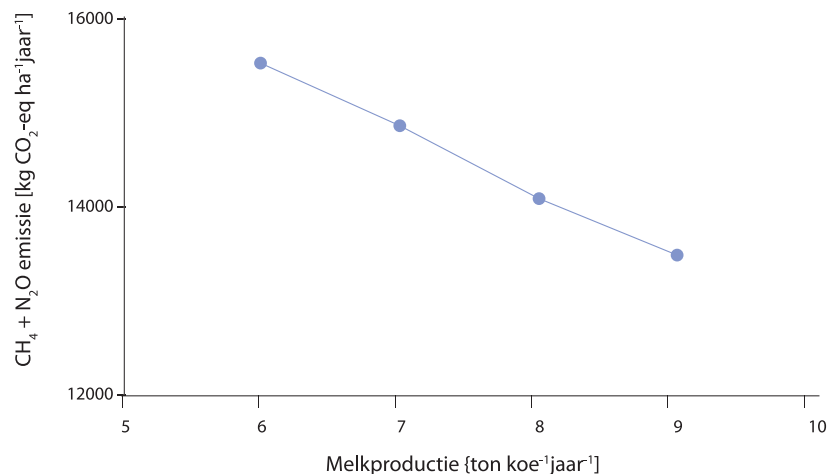
uitmaken van de broeikasgasbalans zijn ook de emissies van de landbouwactiviteiten in de intensief en extensief beheerde polders Oukoop en Stein geschat. Als de CO_2 - en CH_4 -emissies worden meegenomen die vrijkomen bij het spijsverteringsproces van koeien, dan nemen de totale broeikasgassen in Oukoop zelfs met meer dan 250% toe (Kroon et al., 2010).

Beïnvloeding broeikasgasbalans

De broeikasgasemissies uit veenweidegebieden, terrestrische zowel als bedrijfsgerelateerde, nemen af als de managementintensiteit afneemt en het grondwaterpeil wordt verhoogd. Als niet meer wordt bemest en de grondwaterstand tot vlak onder maaiveld staat, kan een veengebied zelfs weer netto broeikasgassen opnemen. Deze gebieden worden daardoor ongeschikt(er) voor landbouw, maar bieden wel kansen voor natuurontwikkeling en -herstel. De landbouwgerelateerde emissies zullen uit deze gebieden verdwijnen, maar keren mogelijk op een andere locatie terug als de activiteiten worden verplaatst. Vergelijkbare conclusies werden door Van den Born et al. (2002) getrokken.

Aanbevelingen

Op basis van de beschreven vergelijking van veenweidegebieden met verschillend beheer kunnen twee aanbevelingen worden gedaan voor komende nationale inventarisaties. De CH_4 -emissies uit sloten en meren is significant en deze emissies met antropogene oorzaak zouden ook meegenomen moeten worden in toekomstige rapportages. Ten tweede wordt er momenteel gewerkt met standaard directe N_2O -emissiefactoren voor minerale en organische bodems (Maas et al., 2008). In dit project is gebleken dat het belangrijk is om de emissiefactoren meer te specificeren op grond van bodemtype en waterstand. Hierdoor kan de grote onzekerheid in de directe



N_2O -emissies worden verlaagd en wordt het effect van ingrijpen in waterbeheer zichtbaar in emissieberekeningen.

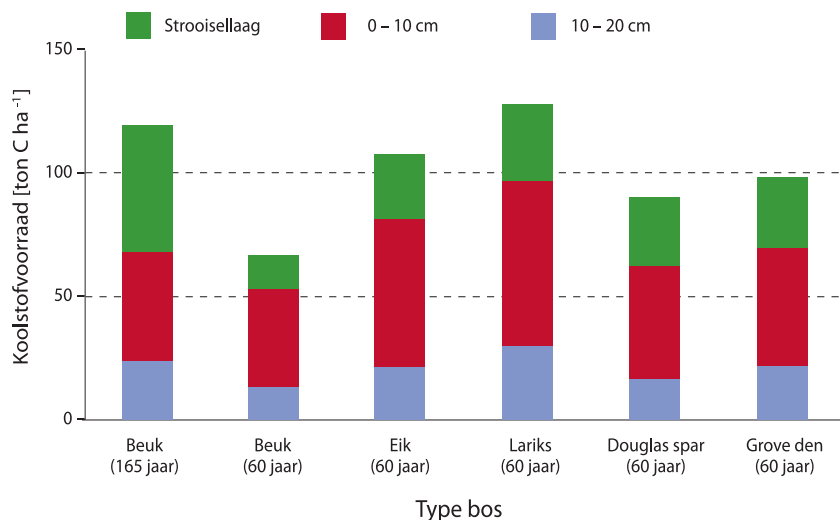
Bossen

Ontbossing is wereldwijd een van de belangrijkste veroorzakers van broeikasgasemissies in de categorie LULUCF. Bij de berekening van de broeikasgasemissie door ontbossing wordt aangenomen dat al de koolstof opgeslagen in het hout weer vrijkomt en dat het gekapte bos niet opnieuw wordt aangeplant. Het IPCC schat de bijdrage van mondiale ontbossing aan de CO_2 -concentratie in de atmosfeer op $1,6 \pm 0,8$ Gton (10^{12} kg) koolstof (C) per jaar. Dat is significant vergeleken met de omvang van de CO_2 -emissies van fossiele brandstoffen en cementproductie van ongeveer $6,3 \pm 0,6$ Gton koolstof per jaar.

Aan de andere kant leggen bestaande en nieuwe bossen relatief grote hoeveelheden CO_2 vast in biomassa, strooisellaag en bodem. Bosaanplant op plaatsen waar voorheen geen bos stond wordt daarom regelmatig ingezet als mitigatiemaatregel, denk hierbij aan 'klimaatbossen'. De Nederlandse bossen leggen ongeveer 3,9 Mton (10^9 kg) CO_2 per jaar vast in biomassa (Nabuurs et al., 2005). Boom-

Figuur 3 Verband tussen de productiviteit van het melkvee en de som van CH_4 - en N_2O -emissies, uitgedrukt in CO_2 -equivalenten (gebaseerd op Van Evert, et al., 2007). Door het melkquoteringssysteem ligt de productie van melk per hectare vast waardoor een vermindering van de emissie per kilogram melk ook leidt tot een vermindering van de emissie per hectare.

Figure 3 Relation between the productivity of dairy cattle and the sum of CH_4 and N_2O emissions expressed in CO_2 equivalents (based on Van Evert, et al., 2007). The production of milk per hectare is fixed by the milk quota system which means that a decrease in emission per kilogram milk also leads to a decrease in emission per hectare.



Figuur 4
Koolstofvoorraden in bodem en strooisellaag van Nederlandse bossen (gebaseerd op Schulp *et al.*, 2008a).

Figure 4 Soil and forest floor Carbon stocks in Dutch forest (based on Schulp *et al.*, 2008a).

soorten verschillen in strooiselproductie en strooiselkwaliteit en daardoor kunnen de koolstofvoorraden significant verschillen per type bosopstand. In het KvR project is onderzoek gedaan naar het effect van de boomsoortkeuze op de lange termijn C-vastlegging in bossen.

Meting

In het KvR-programma zijn de koolstofvoorraden in de bodem en strooisellaag gemeten in het Speulderbos op de Veluwe. Dit bos staat, evenals driekwart van de Nederlandse bossen, op zandgrond en is daarom representatief voor een groot gedeelte van de bossen in Nederland (Schulp *et al.*, 2008a). Er zijn monsters genomen van de minerale bovengrond en de strooisellaag op vijf percelen met veel in Nederland voorkomende boomsoorten (beuk, eik, lariks, Douglasspar en grove den) van de meest voorkomende leeftijdsgroep (40-60 jaar). Daarnaast is als referentie gemeten in een oud beukenbos dat al enkele decennia niet meer wordt beheerd (bosreservaat). Het koolstofpercen-

tage en de bulkdichtheid van de strooisellaag en de minerale bovengrond zijn bepaald. Aan de hand hiervan is de C-voorraad berekend.

Koolstofvoorraad in bodem en biomassa

De variatie in koolstofopslag tussen bosgebieden is erg groot en afhankelijk van de leeftijd van een bos en de boomsoort (figuur 4). Oude bossen hebben grotere C-voorraden in strooisellaag en bodem dan jonge bossen. Zo bevat een oude beukenopstand (165 jaar) een C-voorraad van ruim 50 ton C per hectare en een jonge beukenopstand (60 jaar) slechts 12 ton. Bossen leggen ook (langzaam) koolstof vast in hout en oude bossen hebben daarvan grotere voorraden dan jonge bossen. Deze voorraad gaat voor het overgrote deel verloren bij ontbossing en wordt bij herbebossing weer – langzaam – opgebouwd (Schulp *et al.*, 2008b). Voor de periode 1990-2002 schatten Nabuurs *et al.* (2005) de CO₂-emissie door ontbossing in Nederland (2.504 ha per jaar) op 11,9 Mton CO₂, en de C-vastlegging door bebossing (3124 ha per jaar) op 1,9 Mton CO₂. Dit betekent dat 7,8 hectare nieuw bos aangeplant moet worden om de CO₂ emissie van 1 hectare gekapt bos te compenseren.

Ook de boomsoortkeuze heeft een effect op de lange termijn netto C-vastlegging. Een beuken- en lariksopstand van dezelfde leeftijd in hetzelfde bos verschillen een factor 2 in C-voorraad in bodem en strooisellaag, respectievelijk 66 en 128 ton C per hectare (Schulp *et al.*, dit nummer).

Aanbevelingen

Het kappen van bomen levert een zeer groot verlies aan koolstof op en daarom is vanuit mitigatieoogpunt niet ontbossen de meest effectieve maatregel. Als er nieuwe bossen worden geplant is het aan te raden om bomen te planten die de grootste hoeveelheden C-vastleggen in bodem,



Foto Aat Barendregt,
[geo.uu.nl/pictures/
barendregt](http://geo.uu.nl/pictures/barendregt)

strooisellaag en biomassa. Lariksen doen dat meer dan bijvoorbeeld beuken in de eerste 60 jaar van hun bestaan. Als de oogstcyclus van beide boomsoorten niet sterk verschilt dan verdient de aanplant van lariks de voorkeur als het gaat om maximalisatie van C-vastlegging.

Scenario's landgebruik en emissies

Onze analyses laten zien dat landgebruik, grondwaterdynamiek en beheer grote invloed hebben op de emissies van broeikasgassen. Naar verwachting zullen de demografische ontwikkeling in Europa en voortgaande internationalisering ook in Nederland leiden tot (grote) veranderingen in landgebruik en beheer van ecosystemen, waarvan de richting sterk bepaald wordt door politieke keuzen met betrekking tot het Europese landbouw- en natuurbeleid. Zal de afschaffing van de melkquotering leiden tot een uitbreiding en groei van de melkveehouderij of zal een steeds groter deel van het graslandareaal

extensief beheerd worden en omgezet in natuurland? En wat zijn de gevolgen daarvan voor de broeikasgasbalans van de Nederlandse landschappen?

Op basis van landgebruikscenario's, die zijn ontwikkeld in EURURALIS (WUR & MNP, 2007; Verburg *et al.*, 2006; 2008), hebben Schulp *et al.* (2008b) de gevolgen voor de Europese koolstofbalans, inclusief die van Nederland, berekend. Op basis van vergelijkbare scenario's hebben Nol *et al.* (ingediend) dit gedaan voor lachgasemissies vanuit het veenweidegebied. Beide analyses zijn uitgevoerd met een serie modellen die veranderingen van landgebruik simuleren en koppelen aan enerzijds een eenvoudig koolstofbudgetmodel (Schulp *et al.*, 2008b) en anderzijds een meer procesmatig stikstofmodel (De Vries *et al.*, 2003).

Uitkomsten

De mogelijke veranderingen van de koolstofbalans tot en met het jaar 2030 zijn geanalyseerd voor twee toekomst-

Tabel 3 C-opname/-emissie (+/-) in Nederland in twee scenario's voor het landelijke gebied van Europa (Schulp *et al.*, 2008a).

Table 3 C-sequestration/emission (+/-) in the Netherlands in 2000 and 2030 in two scenario's for Europe's rural areas (Schulp *et al.*, 2008a).

	Oppervlak (km ²)			C-opname/-uitstoot (Gg jr ⁻¹)		
	2000	2030 A2	2030 B1	2000	2030 A2	2030 B1
Akkerbouw	10.898	10.908	8.950	-137	-170	-102
Grasland	13.904	13.760	13.809	153	104	161
Bos	3.819	3.206	4.113	264	195	290
Totaal	28.621	27.874	26.872	280	129	349

scenario's. In het A2-scenario is er een verschuiving naar zeer sterke bescherming van de Europese markt en een duidelijke voorkeur voor landbouwproducten uit de eigen regio. Verder veronderstelt dit scenario veel technologische vooruitgang. Aandacht voor milieu-issues is gering. Het B1-scenario vertegenwoordigt een Europa met meer aandacht voor milieu en strengere normen wat betreft vervuiling dan nu. De globalisering leidt tot minder landbouwproductie in West-Europa en meer import van voedsel. In het A2-scenario verwachten we in Nederland in 2030 veel meer akkerbouw dan in B1. In scenario B1 verschijnen juist meer natuurgebieden (tabel 3). Deze areaalverschillen wat betreft landgebruik hebben rechtstreeks invloed op de koolstofbalans. Het areaal grasland in 2030 verschilt nauwelijks tussen beide scenario's. Niettemin verwachten we in B1 een koolstofopname door graslanden van 161 Gg per jaar, tegen slechts 100 Gg per jaar in A2. Dit is het gevolg van aannames over waar grasland blijft en waar grasland verdwijnt. In A2 blijven de graslanden in het veenweidegebied bestaan als productiegraslanden, terwijl er in B1 natuurontwikkeling is in het veenweidegebied. Productiegraslanden vinden we in B1 meer op de minerale gronden, waar beheerde graslanden ook koolstof vastleggen (Jacobs *et al.*, 2007). Dit voorbeeld laat zien dat het voor het schatten van de toekomstige broeikasgasbalans van landen en regio's van groot belang is waar de eventuele veranderingen in het landgebruik optreden. Onze analyse is alleen gericht op koolstof en gebaseerd op emissiefactoren die alleen on-

derscheid maken tussen landgebruiktypes en minerale-versus veenbodems. Het is duidelijk dat de totale emissie in de verschillende scenario's met een factor twee tot drie kan verschillen. De berekeningen voor de lachgasemissies zijn gemaakt voor twee A1-scenario's en één B2-scenario (Nol *et al.*, ingediend). In de A1-scenario's (marktgericht met weinig aandacht voor milieu) is onderscheid gemaakt tussen een variant waarin de intensieve melkveehouderij in het veenweidegebied concurrerend is met ander landgebruik en dus sterk blijft (A1a) en een variant waarbij dat niet het geval is (A1b). Het eerste scenario leidt tot enige afname in veehouderijareaal ten gevolge van urbanisatie, het tweede tot een sterke afname waarbij het vrijgekomen land braak blijft liggen en begroeid raakt met riet en wilg. In het B2-scenario (een sterke milieubewuste overheid) blijft het veenweidegebied ruimte bieden voor extensieve, duurzame melkveehouderij en verandert het landgebruik niet sterk behoudens in enkele 'groenblauwe' buffers rond de steden. Nol *et al.* (ingediend) berekenen voor dit laatste B2- scenario een afname van de N₂O-emissie met maar liefst 44%. In het A1a-scenario met sterk teruglopende melkveehouderij neemt de emissie af met 33%, en als de intensieve melkveehouderij wel blijft bestaan neemt de emissie per hectare toe maar het areaal door de urbanisatie enigszins af. Dit resulteert in een 7% afname van de N₂O-emissie. De sterke N₂O-afname bij een sterk gereduceerde melkveehouderijsector is consistent met de resultaten uit de eerder gemaakte vergelijking tussen veenweidegebieden met verschillend beheer.

Toekomstverwachting

Een consistente berekening van de omvang van de drie broeikasgassen te samen onder realistische scenario's, zoals hierboven, is niet voorhanden, niet voor het veenweidegebied noch voor Nederland als geheel. Toch ver-

wachten wij dat onder het A1-scenario een groot areaal intensief beheerd grasland in het veenweidegebied zal blijven bestaan. Naast een lagere CO₂-vastlegging kunnen we dan relatief hoge N₂O- en CH₄-emissies verwachten (Kroon et al., 2010). Wat er in het B2-scenario aan veehouderij in het veenweidegebied over blijft zal extensiever zijn dan in A1b. Dit leidt naar verwachting tot aanzienlijk lagere N₂O-emissies.

Verantwoording en conclusie

In het kader van het KvR-project is onderzocht of en hoe de omvang van de broeikasgasemissies uit het landelijk gebied in Nederland kan worden gestuurd. De nadruk in dit project heeft gelegen op veenweiden en bossen, omdat de meeste winst in broeikasgasreductie en koolstofvastlegging behaald kan worden in deze ecosystemen. De volgende beleidsrelevante vragen zijn onderzocht tijdens dit project:

- 1 Wat is het effect van verhoging van de waterstand en verlaging van de landbouwintensiteit op de totale broeikasgasbalans van veenweidegebieden?
- 2 Wat is het effect van de boomsoortkeuze op de lange termijn C-vastlegging in bossen?
- 3 Kunnen de gevolgen van veranderd Nederlands landgebruik op de broeikasgasemissies en koolstofvastlegging worden gekwantificeerd?

De eerste vraag is beantwoord door een landschapsvergelijking waarbij gedurende enkele jaren de broeikasgasemissies van CO₂, CH₄ en N₂O van drie type veenweidegebieden zijn vergeleken. De hoofdconclusie is dat intensief beheerde veenweidegebieden kunnen veranderen van een bron (*source*) naar een opslag (*sink*) van broeikasgassen als de waterstand wordt verhoogd en de landbouwintensiteit verlaagd.

De tweede vraag is onderzocht door middel van intensieve metingen van koolstof in bodem en strooisellaag van



Foto Nynke Schulp

bossen met verschillende boomsoorten op de Veluwe. De hoofdconclusie is dat de boomsoort een effect heeft op de lange termijn vastlegging van koolstof in bossen. Lariksen blijken de grootste hoeveelheden koolstof op te slaan in de bodem en strooisellaag, tot wel twee keer zoveel als beuken.

De derde vraag is onderzocht aan de hand van een aantal toekomstverkenningen waarin veelgebruikte internationale ontwikkelingsscenario's zijn vertaald naar de Nederlandse situatie en, verder ingezoomd, naar het westelijk veenweidegebied. De conclusie is dat de Nederlandse landgebonden emissies sterk zullen veranderen als gevolg van sociaaleconomische veranderingen en eventuele beleidssturing op milieudoelen (of het ontbreken daarvan).

Summary

Could we change land based greenhouse gas emissions?

Petra Kroon, Arina Schrier-Uijl, Petra Stolk, Frits van Evert, Peter Kuikman, Arjan Hensen & Elmar Veenendaal

Peat areas, forests, greenhouse gas emissions, carbon storage

The Dutch BSIK-Climate Changes Spatial Planning projects investigated whether there are possibilities to reduce the greenhouse gas (GHG) emissions in the rural areas in the Netherlands. The main focus during this project was on peat areas and forests, the most relevant sources and sinks, respectively. The effect of raising the groundwater level and reducing the agricultural intensity on the total GHG balance of peat areas was investi-

gated. A landscape scale comparison was made in which the GHG balance of three typical Dutch peat areas was investigated and compared. It was concluded that the total GHG emission will decrease if the groundwater level is raised and management intensity is reduced. In addition, the influence of different tree species on the long term C-storage in the soil was evaluated using measurements in the forest site Speuld in the Netherlands. The main conclusion was that different tree species under similar conditions developed significantly different C stocks in both the forest floor and the mineral topsoil. A larch stand will be much more efficient in C storage than a beech stand determined over a time period of 60 years. Finally, it is shown by scenario studies that the Dutch land emissions could change drastically due to socioeconomic developments and commitment to achieve environmental targets.

Literatuur

Beek, C.L. van, M. Pleijter, C.M.J. Jacobs, G.L. Velthof, J.W. van Groenigen & P.J. Kuikman, 2009. Emissions of N_2O from fertilized and grazed grassland on organic soil in relation to groundwater level. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 86: 331-340.

Beek, C.L. van, C. van der Salm, A.C.C. Plette & H. van de Weerd, 2008. Nutrient loss pathway from grazed grasslands and the effects of decreasing inputs: experimental results for three soil types. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* doi 10.1007/s10705-008-9205-z.

Born, G.J. van den, L. Brouwer, H. Goosen, R. Hoekstra, D. Huitema & R. Schrijver, 2002. Klimaatwinst in Veenweidegebieden. Beheersopties voor het veenweidegebied integraal bekeken. IVM rapport R-02/05.

Burgerhart, N., 2001. Mogelijkheden voor koolstofopslag in Nederlandse ecosystemen. Leerstoegroep Natuurbeheer en Plantenecologie. Wageningen Universiteit.

Drösler, M., A. Freibauer, T.R. Christensen & T. Friborg, 2008. Observations and status of peatland greenhouse gas emissions in Europe. In: Dolman, A. J., R. Valentini and A. Freibauer. *Springer Ecological series* 203: 243-262.

Evert, F.K. van, B. Rutgers, A. Verhagen, H.F.M. Ten Berge & H.G. Van der Meer, 2007. Exploring the effect of dairy farm management

on soil carbon stocks and greenhouse gas emissions. pp: 85-86 in: Trends and perspectives in agriculture. Proceedings of the 23rd Congress of the Nordic Association of Agricultural Scientists (NJF), Copenhagen, June 26-29, 2007.

Hendriks, D.M.D., J. van Huissteden, A.J. Dolman & M.K. van der Molen, 2007. The full greenhouse gas balance of an abandoned peat meadow. *Biogeosciences* 4: 411-424.

Hendriks, D.M.D., A.J. Dolman, M.K. van der Molen & J. van Huissteden, 2008. A compact and stable eddy covariance set-up for methane measurements using off-axis integrated cavity output spectroscopy. *Atmos. Chem. Phys.* 8(2): 431-443.

Hensen, A., P.S. Kroon, J. van Huissteden, A.J. Dolman, E.M. Veenendaal, J.H. Duyzer, J.A. Elbers, C.L. van Beek, & J. Mosquera, dit nummer. Metingen van broeikasgassen in het landschap. *Landschap* 27/2: 57-65.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Kroon, P.S., A. Hensen, H.J.J. Jonker, M.S. Zahniser, W.H. van 't

Veen & A.T. Vermeulen, 2007. Suitability of quantum cascade laser spectroscopy for CH₄ and N₂O eddy covariance flux measurements. *Biogeosciences* 4: 715-728.

Kroon, P.S., A.P. Schrier-Uijl, A. Hensen, E.M. Veenendaal & H.J.J. Jonker, 2010 (in druk). Annual balances of CH₄ and N₂O from a managed fen meadow using eddy covariance flux measurements. *Eur. J. Soil Sci.* 61.

Kuikman, P.J., K.W. van der Hoek, A. Smit & K. Zwart, 2006. Update of emission factors for direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils on the basis of measurements in the Netherlands. Alterra rapport 1217, Alterra, Wageningen.

Maas C.W.M. van der, P.W.H.G. Coenen, P.G. Ruysenaars, H.H.J. Vreuls, L.J. Brandes, K. Baas, G. van den Berghe, G.J. van den Born, B. Guis, A. Hoen, R. te Molder, D.S. Nijdam, J.G.J. Olivier, C.J. Peek & M.W. van Schijndel, 2008. Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2006 National Inventory Report 2008. MNP report 500080009

Nabuurs, G.J., I.J.J. van den Wyngaert, W.P. Daamen, A.T.F. Helmink, W.J.M. de Groot, W.C. Knol, H. Kramer & P.J. Kuikman, 2005. National system of greenhouse gas reporting for forest and nature areas under UNFCCC in the Netherlands. Alterra-rapport 1035.1, Alterra, Wageningen.

Nol, L., P.H. Verburgh & E.J. Moors, ingediend. Uncertainty in future N₂O emissions due to land use change and socio-economic developments. *Global Change Biology*.

Nol, L., R.E.M. Neubert, A.T. Vermeulen, O.S. Vellinga, A.C.G.A. Meesters, L.F. Tolk, J.G.J. Olivier, W. Peters, J.P. Lesschen, R.W.A. Hutjes & E.J. Moors, dit nummer. De broeikasgasbalans van het landschap. 'Dual constraint' methode voor verificatie. *Landschap* 27/2: p 87-97.

Olivier, J.G.J., J.A. van Aardenne, F. Dentener, V. Pagliari, L.N. Ganzeveld & J.A.H.W. Peters, 2005. Recent trends in global greenhouse gas emissions: regional trends 1970-2000 and spatial distribution of key sources in 2000. *Env. Sc.* 2: 81-99.

Rienks, W. & A. Gerritsen, 2005. Veenweide 25x belicht. Alterra speciale uitgaven

Schrier-Uijl, A.P., P.S. Kroon, P.A. Leffelaar, J.C. van Huissteden, F. Berendse & E.M. Veenendaal, 2010a. Methane emissions in two drained peat agro-ecosystems with high and low Agricultural intensity. *Plant Soil*. Doi 10.1007/s11104-009-0180-1.

Schrier-Uijl A.P., P.S. Kroon, A. Hensen, P.A. Leffelaar, F. Berendse & E.M. Veenendaal, 2010b. Comparison of chamber and eddy covariance based CO₂ and CH₄ emission estimates in a heterogeneous grass ecosystem on peat. *Agric. For. Meteorol* doi:10.1016/j.agrformet.2009.11.007.

Schrier-Uijl, A.P., A.J. Veraart, P.A. Leffelaar, F. Berendse & E.M. Veenendaal, 2010c. Release of CO₂ and CH₄ from lakes and drainage ditches in temperate wetlands. *Biogeochemistry*. doi 10.1007/s10533-010-9440-7.

Schrier-Uijl, A.P., D.M.D. Hendriks, P.S. Kroon, A. Hensen, J. van Huissteden, P.A. Leffelaar, L. Nol, F. Berendse & E.M. Veenendaal, in voorbereiding. Agricultural peat lands; toward a GHG sink.

Schulp, C.J.E., G.J. Nabuurs, P.H. Verburg & R.W. de Waal, 2008a. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest ecology and management* 256:482-490.

Schulp, C.J.E., G.J. Nabuurs & P.H. Verburg, 2008b. Future carbon sequestration in Europe – effects of land use change. *Agriculture, ecosystems and the environment* 127:251-264.

Schulp C.J.E., C.M.J. Jacobs, J.H. Duyzer, C.L. van Beek, F.C. Bosveld, A.T.C. Dias, W.W.P. Jans, A.P. Schrier-Uijl & J. E. Vermaat, dit nummer. Variabiliteit in ruimte en tijd ontrafeld. Broeikasgasemissies uit Nederlandse landschappen. *Landschap* 27/2: 67-79.

Stolk, P.S., R.F.A. Hendriks, C.M.J. Jacobs, J. Duijzer, E.J. Moors, J.W. van Groenigen, P.S. Kroon, A.P. Schrier-Uijl, E.M. Veenendaal & P. Kabat, ingediend. Simulation of daily N₂O emissions from managed peat soils. *Vadose Zone Journal*.

Veenendaal, E.M, O. Kolle, P.A. Leffelaar, A.P. Schrier-Uijl, J. van Huissteden, J. van Walsem, F. Möller & F. Berendse, 2007. CO₂ exchange and carbon balance in two grassland sites on eutrophic drained peat soils, *Biogeosciences*:4,1027-1040.

Velthof, G.L. & O. Oenema, 1997. Nitrous oxide emission from dairy farming systems in the Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science*: 45, 347-360.

Verburg, P.H., C.J.E. Schulp, N. Witte, A. Veldkamp, 2006. Downscaling of land use change scenarios to assess the dynamics of European landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114, 39-56.

Verburg, P.H., B. Eickhout, H. van Meijl, 2008. A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. *Annals of Regional Science* 24, 57-77.

Vries, F. de, R.F.A. Hendriks, R.H. Kemmers & R. Wolleswinkel, 2008. Het veen verdwijnt uit Drenthe. Omvang, oorzaken en gevolgen. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1661.

Vries, W. de, H. Kros, O.Oenem & J. de Klein, 2003. Uncertainties in the fate of nitrogen II. Nutrient Cycling in Agrosystems 66: 71-102.

WUR & MNP, 2007. Eururalis 2.0 CDrom. Alterra Wageningen UR. Wageningen The Netherlands.