

# Meten van broeikasgassen in het landschap

De uitwisseling van broeikasgassen tussen het landschap en de atmosfeer laat zich niet zo gemakkelijk bepalen als de emissie uit een schoorsteen. Verschillende meetinstrumenten en technieken worden ingezet om de dynamiek van deze uitwisseling in ruimte en tijd in beeld te krijgen. De metingen moeten vertellen wat de netto broeikasgasbalans van het landschap is en hoe deze zal reageren op een veranderend klimaat.

Grote hoeveelheden broeikasgassen worden elke dag opgenomen en uitgestoten in het landschap. Daarbij gaat het niet alleen om kooldioxide ( $\text{CO}_2$ ) maar ook om methaan ( $\text{CH}_4$ ) en lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ). In Nederland is ongeveer 10% van alle netto broeikasgasemissies afkomstig uit het landelijk gebied; 15% als ook de tuinbouw wordt meegeteld. De grootste bijdrage levert echter nog steeds ons gebruik van fossiele brandstoffen. De uitstoot van bijvoorbeeld  $\text{CO}_2$  uit schoorstenen en auto's is redelijk goed uit te rekenen op basis van gebruikte brandstof. Maar voor de netto broeikasgasuitwisseling in het landschap is het verhaal een stuk ingewikkelder. De uitstoot en opname van velden, bossen en weilanden kent namelijk een veel grilliger en meer diffuus verloop doordat biologische processen vaak afhankelijk zijn van meerdere omgevingsvariabelen en veel ruimtelijk variatie kennen.

Velden, bossen en weilanden nemen dagelijks grote hoeveelheden  $\text{CO}_2$  op en stoten 's nachts een deel daarvan weer uit. De opname door fotosynthese is afhankelijk van licht, temperatuur, vocht en de beschikbaarheid van voeding voor de planten. De uitstoot (respiratie) door planten vindt vooral 's nachts plaats. Daarnaast wordt er in de bodem constant materiaal afgebroken en ook daarbij komt  $\text{CO}_2$  vrij. Naast  $\text{CO}_2$  komt er  $\text{N}_2\text{O}$  vrij uit bemeste weilanden en geven natte, van zuurstof verstoken gebieden eventueel  $\text{CH}_4$  af. Methaan en lachgas dragen per eenheid meer bij aan het broeikas effect dan koolstof – respectievelijk 25 en 300 maal zoveel – en worden daarom uitgedrukt in  $\text{CO}_2$ -equivalenten. Hoeveel er netto in  $\text{CO}_2$ -equivalenten opgenomen of geëmitteerd wordt, hangt sterk samen met hoe wij het landschap beheren.

Welk gewas verbouwen we, hoeveel mest brengen we op het land en draineren we de bodem wel of niet? De broeikasgasemissie vanuit ons landschap is belangrijk voor onze nationale 'broeikasgasrekening' en wordt misschien anders bij een veranderend klimaat. Omdat landgebruik belangrijke effecten op de emissie heeft, liggen daar misschien ook kansen om onze broeikasgasbalans bij te stellen (mitigatie).

Doel van dit artikel is te schetsen welke meetmethoden er gebruikt worden om de uitwisseling van broeikasgassen tussen landschap en atmosfeer in kaart te brengen en wat de recente ontwikkelingen hierin zijn geweest in de BSIK Klimaat voor Ruimte projecten (hierna KvR). In de andere artikelen van dit nummer worden de resultaten van de verschillende metingen gebruikt voor analyse.

Metingen helpen om antwoord te krijgen op de volgende deelvragen:

- 1 Welke processen leiden tot broeikasgasvorming en -emissie?
- 2 Zijn de parameterisaties die we afleiden van kleinschalige metingen wel representatief voor grotere arealen?
- 3 Wat is de totaalemmissie van een ecosysteemtype met inachtneming van verschillende ruimtelijke condities (denk aan natte en droge delen van een terrein)?
- 4 Hoe tellen al die verschillende emissies op tot een schatting van de totale nationale emissie?

De deelvragen spelen op verschillende ruimtelijke schalen en richten zich op verschillende componenten van de broeikasgasemissies, ieder met een eigen dynamiek zowel ruimtelijk als in de tijd.

ARJAN HENSEN, PETRA  
KROON, KO VAN  
HUISSTEDEN, HAN  
DOLMAN, ELMAR  
VEENENDAAL, JAN  
DUYZER, JAN ELBERS,  
CHRISTY VAN BEEK &  
JULIO MOSQUERA

Drs. A. Hensen ECN, Groep luchtkwaliteit en klimaatverandering, Westerduinweg 3, 1755 ZG Petten  
hensen@ecn.nl

Ir. P.S. Kroon ECN, Groep luchtkwaliteit en klimaatverandering  
Dr. J. van Huissteden Afdeling Aardwetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam

Dr. A.J. Dolman Afdeling Aardwetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam

Dr. E.M. Veenendaal Wageningen UR, Leerstoelgroep Natuurbeheer en Plantenecologie

Dr. J.H. Duyzer TNO Bouw en Ondergrond

Ing. J.A. Elbers Wageningen UR, Alterra, Aardsysteemkunde en Klimaatverandering

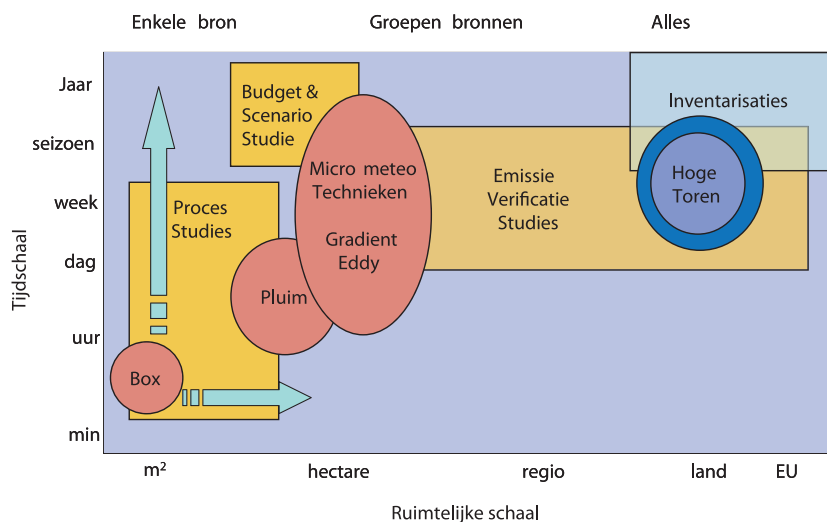
Dr. Ir. C.L. van Beek Wageningen UR Alterra, Bodemkwaliteit en Nutriënten

Dr. J. Mosquera Wageningen UR, Livestock Research

Foto Bert Kers CIO,  $\text{CO}_2$  fluxmeting op akkerland. Op de achtergrond: meetstation Lutjewad.

**Figuur 1** Meetmethoden op verschillende schaal in ruimte en tijd. De pijlen geven aan dat door herhaling en op meerdere locaties een grotere dekking in ruimte en tijd wordt verkregen.

**Figure 1** Methods of measurement on different scales in space and time. Arrows indicate that the coverage in space and time is expanded if measurements are repeated and conducted at various locations.



## Waarvoor meten we?

Om de bovengenoemde deelvragen te beantwoorden zijn er vier categorieën studies nodig (zie ook figuur 1):

- Processtudies op kleine schaal

Deze studies richten zich op het begrijpen van de fysische en biochemische processen die de vorming of opname van broeikasgas bepalen. De ruimtelijke schaal is klein en vereist een goed gedefinieerd homogeen ecosysteem. Meetseries in het laboratorium of op veldplotjes met een verschillend management worden veel voor processtudies gebruikt.

- Budgetstudies op hectareschaal

Een budgetstudie richt zich op het bepalen van de totaal jaarlijks geïntegreerde opname of emissie. Als we door een processtudie weten hoe een vierkante meter reageert kunnen we dat gedrag met computermodellen opschalen naar een hectare, vooropgesteld dat we weten hoe de parameters die de uitwisseling bepalen variëren over die hectare, bijvoorbeeld, hoe hoog het grondwater staat, of waar plekken liggen met urine van grazende koeien. Een

andere optie is om met metingen de budgetstudies direct op hectareschaal uit te voeren. Soms leiden die twee methoden tot hetzelfde resultaat, soms ook niet en de vraag is dan, hoe de verschillen te verklaren zijn.

Proces- en budgetstudies komen aan bod in Schulp *et al.* (dit nummer).

- Scenariostudies

Scenariostudies evalueren ingrepen in het landschap. De processtudies leveren ideeën op om in te grijpen in de broeikasgasbalans. Voorbeelden zijn nieuwe teeltmethoden, of veranderingen in bemestingschema's of waterhuishouding. In een scenariostudie wordt met behulp van modellen een selectie van die ideeën op een grotere ruimtelijke schaal getest. In het artikel van Kroon *et al.* (dit nummer) komen dergelijke scenariostudies aan bod.

- Emissieverificatie

Met alle emissieschattingen van verschillende ecosystemen, gecombineerd met proceskennis en gebruikmakend van modellen en/of geografische informatiesystemen, worden emissiekaarten voor heel Nederland berekend en de schattingen worden eventueel opgenomen in de nationale emissieregistratie. Ook op dit schaalniveau kunnen weer metingen worden ingezet om te zien of die kaarten kloppen met wat we in de lucht aan broeikasgasen meten. Emissieverificatie komt in het artikel van Nol *et al.* (dit nummer) aan bod.

## Hoe meten we?

Helaas bestaat er niet één meetstrategie die voor al deze doelen gebruikt kan worden. Verschillende doelen of uiteenlopende schalen vragen om verschillende meet- (en modelleer-) strategieën, die alleen samen een min of meer compleet beeld van broeikasgasuitwisseling kunnen leveren. Technische beperkingen maken dat de drie gassen niet met elke methode even goed bemeten kunnen worden en verschillende meetmethoden kunnen of



Foto's Jan Elbers  
Links: CO<sub>2</sub>-fluxmeting op een aardappelveld bij Langeweg (Noord-Brabant); rechts: bladvalbakken in het Loobos om te bepalen hoeveel koolstof in de vorm van naalden en bladeren aan het boscysteem wordt toegevoegd.

moeten ieder weer uitgevoerd worden met verschillende typen meetapparaten. In de KvR-projecten is deze zogenaamde multi-constraint benadering verder ontwikkeld als basis voor ons broeikasgasmetsysteem. We bespreken hier kort de gebruikte en verder ontwikkelde technieken.

### Kleinschalige bodemmetingen

Broeikasgassen ontstaan voor een deel in de bodem. Dat geldt voor CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O. Metingen in de bodem kunnen dus inzicht geven in de processen die vorming of afbraak bepalen. Zij hebben ook tot doel antwoord te geven op een aantal fundamentele vragen waar andere methoden geen soelaas bieden. Metingen van broeikasgasconcentraties in de bodem werden uitgevoerd bij Horstermeer (Hendriks *et al.*, 2009) en in Zegveld (Van Groenigen *et al.*, 2005).

#### • Isotoopstudies

Alleen de concentratie in bodem-, grond- en oppervlaktewater van bijvoorbeeld N<sub>2</sub>O zegt nog niets over waar het N<sub>2</sub>O vandaan komt of hoe snel het wordt geproduceerd. Om dat te weten te komen hebben we met een nieuwe ontwikkelde meetopstelling naar de isotopensamenstelling van het N<sub>2</sub>O-molecuul gekeken. Uit de <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N en <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O ratio's in verschillende bodemlagen kunnen we afleiden

waar en hoe snel N<sub>2</sub>O wordt gevormd, en of het uitspoelt of weer wordt omgezet in het onschadelijke N<sub>2</sub>-gas (Van Groenigen *et al.*, 2005). Dit is gedaan op een proefveld te Zegveld. De gegevens zijn gekoppeld aan modellen over N<sub>2</sub>O-productie en -emissie in de bodem (Stolk *et al.*, ingediend; Klefoth *et al.*, ingediend).

#### • Kamermetingen

De meest gebruikte techniek om de fluxen van CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O te meten zijn kamermetingen. Tot op heden is deze meetmethode het fundament onder de nationale en IPCC emissiefactoren voor CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O. Een meetkamer die omgekeerd op de bodem of op het water staat vangt het daaruit ontsnappende gas op. De toename van de concentratie in de kamer wordt over een bepaald tijdsinterval gemeten en daaruit wordt de emissie berekend. Daalt de concentratie in de kamer dan neemt de vegetatie gas op. Kamers kunnen geheel gesloten zijn (statische kamer) of de buitenlucht kan continu door de kamer gezogen worden (dynamische kamer). In het eerste geval meten we de toe- of afname van de concentratie van het gas, in het tweede geval wordt gemeten wat het verschil is tussen de hoeveelheid broeikasgas dat de kamer in gaat en verlaat. Kamermetingen worden vaak nog handmatig uitgevoerd waarbij de experimentatoren het veld in gaan en

**Figuur 2** Overzicht van verschillende soorten kamermetingen uitgevoerd binnen KvR. Horstermeer, Zegveld, Oukoop, Stein en Cabauw voor een deel, liggen in het veenweidegebied. In Slootdorp, Zevenbergen en bij Vredepeel is gemeten op akkerbouwvelden en in Loobos is de bodemrespiratie van een dennenbos gemeten. Gebruikte apparatuur: (Opt-Ac) = optisch-acoustisch; (TDL) = tunable diode laser; (GC) = gas chromatograaf; (NDIR) = Non dispersive infrarode gas analyzer.

**Figure 2** Overview of the various types of chamber measurements used in KvR. Zegveld, Oukoop, Stein and Cabauw (partly) are situated in the peat meadow area. In Slootdorp, Zevenbergen and Vredepeel measurements were conducted on arable fields; in Loobos the soil respiration of a pine wood was measured. Used equipment: (Opt-Ac) = optic-acoustic; (TDL) = tunable diode laser; (GC) = gas chromatograph; (NDIR) = Non dispersive infrared gas analyzer.



de kamers plaatsen op veelal voor langere duur ingegraven ringen in de bodem. De concentratietoename wordt doorgaans gedurende 5-30 minuten gemeten. (Van Beek et al., 2010; Pleijter et al., in voorbereiding; Vermeulen & Mosquera, 2009). Er zijn ook automatische kamermeet-systemen. Groot voordeel van dergelijke continue metingen is dat ook niet te voorziene, kortdurende pieken in de emissie gedetecteerd worden. Dit speelt vooral bij  $N_2O$ , dat veelal, in gang gezet door een regenbui, een sterke piekemissie laat zich zien ergens binnen twee weken na bemesting. Bij handmatige metingen is de kans aanzienlijk dat een dergelijke piek helemaal of gedeeltelijk gemist wordt. Een ander voordeel van automatische kamers bij methaanmetingen is dat verstoringen door rondlopende onderzoekers, die daardoor bijvoorbeeld methaانبellen uit de bodem vrij laten komen, niet voorkomen. Door niet-lineaire toename van de concentratie in de meetkamer leiden conventionele berekeningsmethoden tot een onderschatting van de flux van 10-tallen procenten. Binnen KvR is de berekeningsmethode sterk verbeterd door een correctie hiervoor aan te brengen (Kroon et al., 2008).

Ook is gekeken naar het opschalen van kamermetingen door de bijdrage van verschillende delen van het landschap (veld, rand van de sloot en sloot) apart te wegen. De zo opgeschaalde kamermetingen blijken goed te kloppen met de schattingen door de hieronder besproken eddy-covariantiemetingen (Schrier-Uijl et al., 2010).

Er is een groot aantal verschillende meetssystemen met kamers beschikbaar. Een kamer die over aardappels past moet immers groter zijn dan een kamer waarmee op een bosbodem wordt gemeten. In een bos is een kamer van één vierkante meter onhandig terwijl dat op een weiland veel minder een probleem is. Figuur 2 geeft een overzicht van de verschillende in KvR gebruikte kamermetingen.

### Micrometeorologische technieken

De emissie of opname van gas door vegetatie of bodem is ook te meten in de atmosfeer boven het oppervlak. Het is de turbulentie die het belangrijkste transport verzorgt van gas vanaf het oppervlak de atmosfeer in. Deze heeft als effect dat het verschil tussen een hoge concentratie vlak boven het oppervlak en een lage (achtergrond concentratie) in hogere luchtlagen met elkaar gemengd worden. Zowel grote als kleine wervels (*eddies* in het Engels) dragen bij aan dat transport. Resultaat is dat de concentratie boven een emitterend oppervlak met de hoogte afneemt terwijl bij opname van gas door bodem/vegetatie de concentratie juist met de hoogte toeneemt. Binnen de KvR projecten zijn verschillende micrometeorologische technieken verder ontwikkeld en toegepast die hieronder zullen worden toegelicht (figuur 3).

- Gradiëntmetingen

Bij dit type metingen wordt de concentratie meestal op drie verschillende hoogtes boven het maaiveld gemeten. De gradiënt wordt echter zowel door de emissiesterkte als door de mate van turbulentie in de atmosfeer bepaald. In een rustige nacht is de gradiënt groot, terwijl de flux

klein kan zijn. Overdag zal veel turbulentie ook bij een grote flux tot een kleine gradiënt leiden. Dat hiervoor gecorrigeerd moet worden is een nadeel van deze methode. Voordeel is dat relatief langzame (=goedkopere) instrumenten bruikbaar zijn en dat ook opslag in de vegetatiekuin bepaald kan worden. Gradiëntmetingen zijn uitgevoerd in combinatie met eddy-covariantiemetingen op de meetsites in het Loobos (Kruijt *et al.*, 2009) en in de Horstermeer polder (Hendriks *et al.*, 2009).

#### • Eddy-covariantiemetingen

Met een driedimensionale windsnelheidsmeter wordt met meer dan 10 metingen per seconde de verticale windsnelheid bepaald. Indien bij neergaande luchtbeweging de concentratie van een gas laag is en bij opgaande beweging een hogere concentratie wordt waargenomen is er sprake van een netto opwaarts transport (emissie). Zowel de wind als de gasconcentratie moet met snel reagerende sensoren gemeten worden omdat ook kleine wervels bijdragen aan het totale transport. Voor CO<sub>2</sub> wordt de eddy-covariantiemethode (EC) al bijna twee decennia gebruikt en met relatief goedkope sensoren is dit bijna een standaardmeetmethode geworden. Voor methaan en lachgas zijn instrumenten die voldoende snel en met voldoende oplossend vermogen de concentratie kunnen bepalen pas recent beschikbaar en nog veel duurder (Kroon *et al.*, 2007; Hendriks *et al.*, 2008).

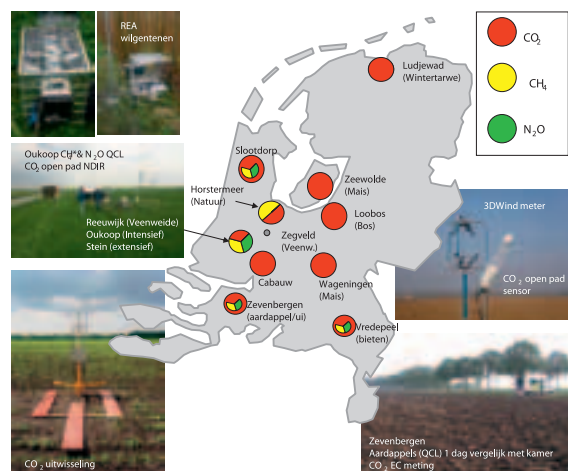
### Metingen van atmosferisch transport

Voor bronnen in het landschap die ruimtelijk erg heterogeen zijn en die een duidelijke begrenzing kennen zijn gradiënt of EC-metingen minder goed geschikt. Een boerderij met een aantal stallen, een net bemest weiland, een afvalstortplaats, maar ook een groep koeien in de wei zijn voorbeelden van bronnen waar EC- en gradiëntmetingen geen optie zijn. Zogenaamde pluimmetingen op enige afstand van de bron kunnen hier uitkomst bieden

(figuur 4). De wind neemt het geëmitteerde gas mee en op een transect benedenwinds van de bron is de emissie waarneembaar als een pluim van gas die over komt waaien. Door met een mobiel meetsysteem of met een set samplers op een rij de pluim te kwantificeren kan de emissie uit de bron worden herleid. Dit type metingen is gebruikt om onder andere methaan uit de adem van koeien te bepalen.

### Emissieverificatie met hoge mast

Analyses op nationale en Europese schaal maken gebruik van metingen met hoge masten. De 200 meter hoge meetmast bij Cabauw van het CESAR consortium ([cesar-observatory.nl/](http://cesar-observatory.nl/)) heeft de langstlopende broeikasgasdataset van CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O in Nederland. De metingen op verschillende hoogten geven een beeld van gebieden met verschillende omvang bovenwinds van de meetmast. De metingen op 200 meter hoogte worden gebruikt om voor een gebied tot ongeveer 1.000 km om de mast de emissies te evalueren. Een tweede hoge mast (60 m) is te vinden in Noord-Groningen bij Lutjewad. Gegevens van deze mas-



**Figuur 3** Micrometeorologische metingen binnen de KVR projecten. EC = eddy-covariantie, REA = Relaxed Eddy Accumulation, QCL = quantum cascade laser en NDIR = Non dispersive infrared gas analyzer.

**Figuur 3** Micro meteorological measurements within the KVR project. EC = eddy-covariantie, REA = Relaxed Eddy Accumulation, QCL = quantum cascade laser en NDIR = Non dispersive infrared gas analyzer.

**Figuur 4** Metingen waarbij gemeten concentraties gecombineerd worden met atmosferische transportmodellen.

**Figure 4** Measurements which combine measured concentrations with atmospheric transport models.

ten worden in zogenaamde inverse modellen gebruikt om emissiekaarten te maken. Deze techniek wordt verder beschreven in het artikel van Nol et al. (dit nummer). Omdat metingen van verschillende stations worden vergeleken is de absolute nauwkeurigheid bij dit type studies belangrijk en zijn intercalibratie met internationale standaarden en stabiliteit van het meetstelsel cruciaal.

## Vliegtuigmetingen

Waar de hoge masten een continu beeld van de concentratiepatronen in de tijd op één locatie kunnen bieden, zijn vliegtuigmetingen in staat om de ruimtelijke variabiliteit van de concentratie of flux op een select aantal

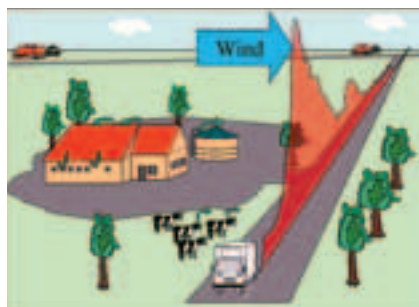
dagen in het jaar waar te nemen. Een klein vliegtuig met aan boord meteorologische instrumentatie en een CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O eddy-covariantiesysteem is gebruikt om emissies langs verschillende transecten boven Nederland te meten. Voor deze applicatie zijn snelle metingen van windveld en concentratieveranderingen, maar ook van de vliegtuigbewegingen zelf essentieel. Calibratie van een op hoogte en dus druk variërend meetinstrument is belangrijk voor concentratiemetingen. Ook dit type metingen wordt in het artikel van Nol et al. (dit nummer) verder besproken.

## Discussie

### De rol van metingen

Het verrichten van feitelijke metingen aan broeikasgassen is aanzienlijk kostbaarder dan het uitvoeren van deskstudies of assessments. De vraag is dus of metingen nodig zijn en blijven en waarom dan.

De omvang van uitstoot en opname van broeikasgassen door het landschap valt niet voor het geheel te geven, maar slechts per component (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O). Elke component kent z'n eigen onderliggende processen en variabiliteit op verschillende ruimtelijke en temporele schalen. Voor beleidsdoeleinden is het antwoord op de laatste vraag uit de inleiding: "Hoe tellen al die verschillende emissies op tot een schatting van de totale nationale emissie", het meest relevant. Een meetmethode die enkel die schatting produceert is op het eerste gezicht dan ook misschien voldoende, maar zo'n methode is er niet. En als de wens bestaat om emissies te sturen is ook procesgerichte informatie (het hoe) onontbeerlijk. Alleen daarmee én met modellering kan een schatting voor heel Nederland worden berekend. Om de onzekerheid daarvan te verkleinen zijn metingen op alle schaalniveaus nodig. Zo is een deel van de metingen gericht op het vinden van representatieve emissiebeschrijvingen voor al die plekken waar geen metingen kunnen worden uitgevoerd. Figuur 5



Concept pluimmetingen



CH<sub>4</sub> pluim meting groep koeien



Meetinstrumenten, vlnr: GC, NDIR, Isotoop sampler (foto Vermeulen)

Cabauw meetmast KNMI

laat zien waar verschillende meetmethoden (groen) een rol spelen om antwoorden (blauw) te krijgen op de verschillende vragen (geel).

Het antwoord op de vraag welke processen leiden tot broeikasgasvorming en -emissie, moet komen uit experimenten. Voor  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$  geldt dat die kennis tot nu toe grotendeels op kamermetingen is gebaseerd. Nieuw in KvR zijn de metingen van broeikasgasprofielen in de bodem van de Horstermeer. Ook nieuw zijn  $\text{N}_2\text{O}$ -isotoopmetingen die de verschillende processen die mogelijk tot  $\text{N}_2\text{O}$ -vorming leiden, beter kunnen onderscheiden. Voor  $\text{CO}_2$  wordt de eddy-covariantiemethode veelvuldig op hectareschaal ingezet om processtudies uit te voeren.

Voor beantwoording van de tweede en derde deelvraag uit figuur 5 zijn metingen op grotere aggregatieniveaus (hectareschaal en ecosysteemniveau) nodig. Deze leveren informatie waaraan de representativiteit van proceskennis en de opschalingsmogelijkheden richting nationaal niveau getoetst kunnen worden. Nieuw in KvR is dat ook voor  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$  EC-metingen zijn verricht op hectareschaal. Voor het eerst zijn er nu resultaten beschikbaar van simultaan op deze schaal gemeten  $\text{CO}_2$ -,  $\text{CH}_4$ - en  $\text{N}_2\text{O}$ -uitwisseling. Tot dan werden voor de laatste twee componenten uitsluitend kamermetingen ingezet.

Voor beantwoording van de laatste deelvraag moet de beschikbare kennis uit de metingen op kleinere schalen generaliseerd worden en met modellen opgeschaald tot nationale waarden. Vooral de hoge torenmetingen maar ook de vliegtuigmeting helpen op nationale schaal de emissies te valideren.

## Innovatie

Ondanks al deze metingen zijn emissies gerelateerd aan landgebruik nog steeds een van de meest onzekere posten in onze broeikasgasbalans. Een voortdurende innovatie van meetmethoden en -technieken is erg belangrijk. Voor

$\text{CO}_2$  uitwisseling zijn de inzet in KvR van snel verplaatsbare EC-meetsystemen en de inzet van het meetvliegtuig belangrijke innovaties. Budgetstudies op regionale schaal gebaseerd op hoge toren metingen zijn nu vrij goed mogelijk voor  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$ , maar voor  $\text{CO}_2$  moet daar nog meer ervaring mee worden opgedaan. Kamermetingen van  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$  hebben ondersteuning nodig van nieuwe technieken. Isotoopstudies die onderscheid kunnen maken tussen verschillende processen die aan de  $\text{N}_2\text{O}$  emissies bijdragen zijn daar een voorbeeld van. Nederland zou meer gebruik moeten maken van automatische kamermetingen, zoals door KvR succesvol ingezet op twee locaties.

**Figuur 5** Welke meetmethode ondersteunt welke vraag, gesorteerd naar schaalniveau (vertikaal) en naar component (horizontaal)

**Figure 5** Which measurement method is answering which question, sorted by scale (vertical) and component (horizontal).

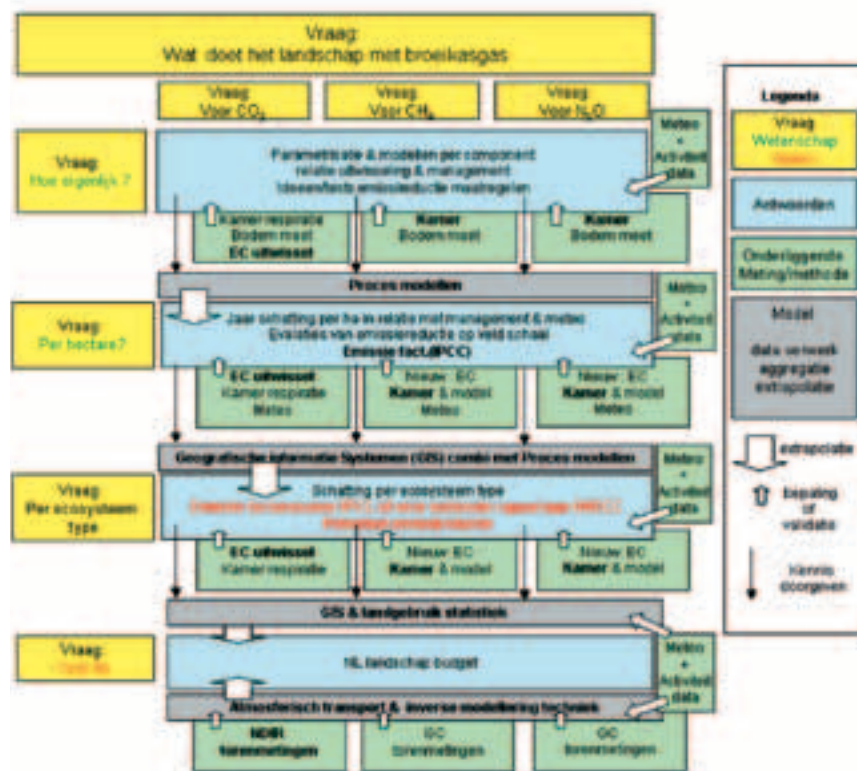


Foto Jan Elbers  
Broeikasgasmeting op  
grasland bij Lutjewad.



Wat de kamermeetmethode zelf betreft, heeft KvR een belangrijke internationale discussie aangezwengeld over de berekeningsmethodiek van emissies. De beschikbaarheid van nieuwe snelle meetsensoren maakt betere kamermetingen mogelijk. Deze sensoren zijn ook geschikt voor de

EC-studies zoals die bij Reeuwijk en de Horstermeer zijn uitgevoerd (Hendriks et al., 2008; Kroon et al., 2007). Deze technieken maken evaluaties, zoals die de afgelopen jaren in het CO<sub>2</sub>-onderzoek zijn uitgevoerd, haalbaar voor CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O. De analyse van Kroon et al. (2009) laat zien dat met EC-metingen de netto uitwisseling van CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O op hectareschaal met meer zekerheid bepaald wordt dan tot nu toe met kamermeetcampagnes mogelijk was.

Vrijwel alle groepen die in Nederland actief zijn op broeikasgasgebied hebben de afgelopen jaren binnen KvR een grote slag gemaakt om metingen te integreren, te vergelijken en om te komen tot opschaling. Op een aantal punten is duidelijk sprake van innovatie. In de rest van dit nummer worden meetresultaten verder uitgediept, geïnterpreteerd en vertaald naar kennis en opties voor beleid. Het hier gepresenteerde meetwerk is het fundament onder die verdere wetenschappelijke interpretatie.

## Summary

### Measurements of greenhouse gases in rural areas

Arjan Hensen, Petra Kroon, Ko van Huissteden, Han Dolman, Elmar Veenendaal, Jan Duyzer, Jan Elbers, Christy van Beek & Julio Mosquera  
Greenhouse gas, emissions, measurement techniques.

Determining the exchange of greenhouse gas between the landscape and the atmosphere is a challenge. Several measurement methods and trace gas detectors exist to measure the exchange fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide. Different source systems e.g. pasture, arable lands, ditches, forest require a combination of several techniques and detectors. This paper provides an overview of the techniques used in the BSIK-

Climate Changes Spatial Planning projects. Chamber measurements, micro meteorological measurements, plume measurements and tall tower verification measurements and the role of these in the BSIK programme are described. The results of the measurements are discussed in the subsequent papers in this special issue. The paper advocates simultaneous use of different techniques to evaluate trace gas exchange. A combination of techniques can better constrain the emission levels from relevant sources. The paper also promotes the use of measurements as the primary source of information on the status of the contribution of our landscape to the balance of greenhouse gasses.



## Literatuur

Beek, C.L. van, M. Pleijter, C.M.J. Jacobs, G.L. Velthof, J.W. van Groenigen & P.J. Kuikman, 2010. Emissions of N<sub>2</sub>O from fertilized and grazed grassland on organic soil in relation to groundwater level. *Nut. Cycl. Agroecosyst.* 86: 331-340.

Groenigen, J.W. van, K.B. Zwart, D. Harris & C. Kessel, 2005. Vertical gradients of 15N and 18O in soil atmospheric N<sub>2</sub>O – temporal dynamics in an arable sandy soil. *Rapid Comm. Mass Spectrom.* 19, 1289-1295.

Hendriks, D.M.D., J. van Huissteden & A.J. Dolman, 2009. Multi technique assesment of spatial and temporal variability of methane fluxes in a peat meadow. *Agr. and Forest Met.*, doi:10.1016/j.agrformet.2009.06.017

Hendriks, D.M.D., A.J. Dolman, J.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: 431-443.

Klefoth, R., O. Oenema & J.W. van Groenigen, ingediend. A method to measure N<sub>2</sub>O reduction in soil. Ingediend bij Vadoze Zone Journal.



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 CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O eddy covariance flux measurements, *Biogeosciences*, 4, 715-728.

Kroon, P.S., A. Hensen, W.C.M. van den Bulk, P.A.C. Jongejan & A.T. Vermeulen, 2008. The importance of reducing the systematic error due to non-linearity in N<sub>2</sub>O flux measurements by static chambers. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 82, 175-186, doi:10.1007/s10705-008-9179-x.

Kroon, P.S., A. Hensen, H.J.J. Jonker, H.G. Ouwersloot, A.T. Vermeulen & F.C. Bosveld, 2009. Uncertainties in eddy covariance flux measurements assessed from CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O observations, *Agricultural and Forest Meteorology*. doi:10.1016/j.agrformet.2009.08.008.

Kroon, P.S., A.P. Schrier-Uijl, P.C. Stolk, F.K. van Evert, P.J. Kuikman, A. Hensen & E.M. Veenendaal, dit nummer. Beïnvloeden van landgebonden broeikasgasemissies. Naar een klimaatneutrale(re) inrichting van het landelijke gebied. *Landschap* 27/2: 99-109.

Kruijt, B., J. Elbers, T. Gruenwald, A. Carrara, A. Vermeulen, T. Aalto & S. van der Laan, 2009. Evaluation and application of low-cost, medium-high-accuracy CO<sub>2</sub> measurements on western-european flux towers In: 8th International CO<sub>2</sub> conference, Jena, Germany, 13 - 19 September, 2009.

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.

Pleijter, M., C.L. van Beek & P.J. Kuikman, in voorbereiding. Emissie van lachgas uit grasland op veengrond. Monitoring lachgasfluxen op melkveebedrijf Zegveld in de periode 2005-2009. Alterra rapport.

Schrier-Uijl, A.P., E.M. Veenendaal, P.S. Kroon, P.A. Leffelaar, A. Hensen, A., & F. Berendse, 2010. Comparison of methane and carbon dioxide fluxes at small and large scale measured by eddy covariance and a closed chamber method in a grass ecosystem on peat. *Agricultural and Forest Meteorology*. doi:10.1016/j.agrformet.2009.11.007.

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.C., R.F.A. Hendriks, C.M.J. Jacobs, J. Duijzer, E.J. Moors, J.W. van Groenigen, P.S. Kroon, A. Schrier-Uijl, E. Veenendaal & P. Kabat, ingediend. Simulation of daily N<sub>2</sub>O emissions from managed peat soils. Ingediend bij Vadoze Zone Journal.

Vermeulen, G.D. & J. Mosquera, 2009. Soil, crop and emission responses to seasonal-controlled traffic in organic vegetable farming on loam soil, *Soil & Tillage Research* 102, 126-134.

Foto Ronald Hutjes Bos bij Lage Vuursche.