

Invloed van waterbeheer op gekoppelde broeikasgasemissies in het veenweidegebied bij ROC Zegveld

Invloed van waterbeheer op gekoppelde broeikasgasemissies in het veenweidegebied bij ROC Zegveld

C.M.J. Jacobs

E.J. Moors

F.J.E. van der Bolt

Alterra-rapport 840

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2003

REFERAAT

Jacobs, C.M.J., E.J. Moors en F.J.E. van der Bolt, 2003 *Invloed van waterbeheer op gekoppelde broeikasgasemissies in het veenweidegebied bij ROC Zegveld*. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 840. 93 blz. ; 20 fig.; 11 tab.; 40 ref.

Bij Regionaal Onderzoek Centrum "ROC Zegveld" zijn in de jaren 2001-2002 metingen aan uitstoot en opname van de broeikasgassen CO₂, N₂O en CH₄ uitgevoerd. De metingen vonden plaats op één perceel met relatief hoge grondwaterstand en één met relatief lage grondwaterstand. Met de modellen SWAP en ANIMO is de toestand in de bodem gesimuleerd. De meetgegevens zijn met behulp van statistische relaties tussen waarnemingen en modeluitvoer geëxtrapoleerd naar jaartotalen van de netto broeikasgasuitwisseling. Waargenomen en geëxtrapoleerde CO₂ en N₂O emissies waren gemiddeld lager bij hogere grondwaterstand. Verdere extrapolatie naar de periode 1992-2002 bevestigde een grote interjaarlijkse variatie van de broeikasgasemissies. Deze emissies waren gecorreleerd met de jaargemiddelde grondwaterstand. De bijbehorende statistische verbanden impliceren per cm verhoging van de jaargemiddelde grondwaterstand een vermindering van de broeikasgasemissie met 0-2 ton CO₂-equivalenten ha⁻¹ jaar⁻¹. De onzekerheden in de extrapolaties zijn echter groot. Daarnaast is de rol van niet direct met specifieke percelen en waterbeheer verbonden emissies belangrijk, maar onduidelijk.

Trefwoorden: broeikasgassen, fluxmetingen, veenweidegebied, waterbeheer

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €18,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 840. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2003 Alterra
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

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

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	15
1.1 Maatschappelijke context	15
1.2 Wetenschappelijke achtergrond van de relatie tussen broeikasgasemissies en waterbeheer in veenweidegebieden	16
1.2.1 CO ₂	16
1.2.2 CH ₄	16
1.2.3 N ₂ O	17
1.2.4 Wetenschappelijke vragen	18
1.3 Aanpak; opbouw van het rapport	18
2 Metingen	21
2.1 Algemeen	21
2.2 CO ₂ -uitwisseling	22
2.2.1 Algemeen	22
2.2.2 Periode en locatie	22
2.2.3 Kwaliteitscontrole	26
2.3 Uitwisseling van N ₂ O en CH ₄	26
2.3.1 Algemeen	26
2.3.2 Periode en locatie	27
2.3.3 Uitvoering van de metingen en gerelateerde berekeningen	27
3 Resultaten van de metingen: droog versus nat	29
3.1 Inleiding	29
3.2 CO ₂ -fluxen	29
3.2.1 Gepaarde waarnemingen	29
3.2.2 Gemiddelde dagbalansen	31
3.2.3 Mogelijke invloed van beweiding en bemesting	37
3.2.3.1 Beweiding	37
3.2.3.2 Bemesting	37
3.2.4 Discussie CO ₂ -flux waarnemingen	38
3.3 N ₂ O-fluxen	39
3.3.1 Jaarverloop	39
3.3.2 Ruimtelijke en temporele variabiliteit	42
3.3.3 Verschillen tussen het droge en het natte perceel	42
3.3.4 Discussie N ₂ O-fluxen	43
4 Jaarbalansen	45
4.1 Inleiding	45
4.2 Modelsimulaties	46
4.2.1 Simulaties met SWAP	46
4.2.2 Simulaties met ANIMO	47
4.3 Statistische analyses van de fluxvariantie	47

4.3.1	Algemene werkwijze	47
4.3.2	Speciale verwerking van N ₂ O-fluxen in verband met variabiliteit	49
4.3.3	Resultaten CO ₂	50
4.3.3.1	Respiratie	50
4.3.3.2	Fotosynthese	51
4.3.3.3	Netto CO ₂ -flux	53
4.3.4	Resultaten N ₂ O	55
4.4	Jaarbalansen	56
4.4.1	Fluxbalans CO ₂	57
4.4.2	Fluxbalans CH ₄	61
4.5	Jaarbalans op perceelsniveau	62
5	Discussie	65
5.1	Interjaarlijkse variabiliteit	65
5.1.1	Werkwijze	65
5.1.2	Resultaten	66
5.1.3	Relatie tussen jaarbalans en jaargemiddelde grondwaterstand	69
5.2	Andere onzekerheden	71
5.2.1	Variatie in tijd en ruimte	71
5.2.2	Uitspoeling, afvoer en uitstoot via sloten	72
5.2.3	Factoren op bedrijfsniveau	74
6	Conclusies en aanbevelingen	75
6.1	Relatie gekoppelde broeikasgasemissie en grondwaterstand	75
6.2	De meetmethodes	76
6.3	De extrapolatiemodellen	76
6.4	Samenstelling van de jaarbalansen	77
6.5	Analyse van de jaarlijkse netto gasuitwisseling	78
6.6	Toekomstig onderzoek	79
	Literatuur.	81

Bijlagen

1	Bodemprofielen bij ROC Zegveld	85
2	Verslag van de Alterra CO ₂ -flux meetcampagne in 2001	87
3	Berekening van CO ₂ -emissie uit maaiveldddaling	93

Woord vooraf

Onder het Kyoto-protocol heeft Nederland zich in EU-verband verplicht om de uitstoot van broeikasgassen in 2008-2012 te verminderen met 6% ten opzichte van het jaar 1990. De helft van deze reductie zou binnen Nederland moeten plaatsvinden. Een andere maatschappelijke ontwikkeling is de in het Tweede Structuurschema Groene Ruimte vastgelegde wens om de unieke Nederlandse veenweidegebieden zoveel mogelijk te behouden. Maatregelen ten behoeve van het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen in het veenweidegebied en maatregelen voor het behoud van het veenweidegebied kunnen elkaar versterken, maar ook verzwakken.

In 2001 is in het kader van het LNV-DWK programma “Integraal Waterbeheer voor een vitaal platteland” (362) het project “Klimaat en water in veenweidegebieden” gestart met als doel het inzicht in de relatie tussen waterbeheer en broeikasgasuitstoot in veenweidegebieden te vergroten. In 2002 heeft het LNV-DWK programma “Klimaatverandering en de functies van het landelijk gebied” (344) ook aan het onderzoek bijgedragen. Er is gebruik gemaakt van metingen van de uitstoot van lachgas en methaan die in het kader van het onderzoeksprogramma voor het “Reductieplan Overige Broeikasgassen” (ROB) bij Regionaal Onderzoek Centrum “ROC Zegveld” werden uitgevoerd door medewerkers van het Praktijkstation Veehouderij te Lelystad (PV). Gerard Velthof van Alterra en Agnes van den Pol – van Dasselaar van PV willen wij bedanken voor hun assistentie bij uitwerking van de lachgas en methaan meetgegevens. In samenwerking met het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) heeft Alterra in 2001 oriënterende micrometeorologische waarnemingen van de CO₂-uitstoot en opname uitgevoerd bij Cabauw en bij ROC Zegveld. Wij willen Fred Bosveld bedanken voor het beschikbaar stellen van de KNMI-metgegevens. In 2002 hebben we mogen profiteren van de samenwerking met Bert Heusinkveld en Peter Hofschreuder van de Leerstoelgroep Meteorologie en Luchtkwaliteit van de Wageningen Universiteit. Van Alterra zijde werden de micrometeorologische waarnemingen uitgevoerd en verwerkt door Jan Elbers en Wilma Jans. Ook aan Karel van Houwelingen en Joop Verheul zijn we veel dank verschuldigd voor hun medewerking bij het uitvoeren van de waarnemingen bij ROC Zegveld, hun hulp bij het interpreteren van de metingen en voor het beschikbaar stellen van de bedrijfsgegevens van ROC Zegveld. Tenslotte zijn we Rob Hendriks, Gerard Velthof en Ronald Hutjes dankbaar voor de kritische opmerkingen over het concept rapport.

Samenvatting

Achtergrond

De uitstoot of opname van de broeikasgassen kooldioxide (CO₂), lachgas (N₂O) en methaan (CH₄) uit veenweidegebieden wordt mede beïnvloed door het waterbeheer in deze gebieden. Deze relatie is van maatschappelijk belang. Veranderingen in de uitstoot van broeikasgassen door aanpassing van het waterbeheer zouden op termijn kunnen meewegen in de evaluatie van maatregelen onder het zogenoemde Kyoto-protocol: Nederland heeft zich in EU-verband verplicht om de broeikasgasuitstoot in 2008-2012 te verminderen met 6% ten opzichte van het jaar 1990. Daarnaast is in het Tweede Structuurschema Groene Ruimte (SGR2) de wens vastgelegd om veenweidegebieden zolang mogelijk te behouden.

Om de veenweidegebieden te behouden zou de gemiddelde grondwaterstand omhoog moeten (vernattig). De huidige gedeeltelijke drooglegging ten behoeve van de landbouw in grote delen van de veenweidegebieden leidt tot afbraak van het veenpakket. Bij deze afbraak komt onder andere CO₂ vrij. In het verleden zijn aanwijzingen gevonden dat ook de uitstoot van N₂O verhoogd wordt. Daarentegen kan drooglegging juist opname van CH₄ in de hand werken. Omgekeerd wordt verwacht dat het opnieuw vernatten van veenweidegebieden de huidige uitstoot van CO₂ en N₂O verlaagt, maar die van CH₄ juist verhoogt of eventuele opname hiervan verandert in aanzienlijke uitstoot.

Naast de effecten op landbouw en natuur is een verandering in de uitstoot van broeikasgassen dus één van de aspecten die een rol kunnen spelen bij de beoordeling van vernattingsstrategieën. De kennis over de relatie tussen waterhuishoudkundige maatregelen en broeikasgasuitstoot schiet echter tekort om verantwoorde toekomstverwachtingen te kunnen geven van het effect van zulke maatregelen op de uitstoot van broeikasgassen. Het in dit rapport beschreven onderzoek was erop gericht enkele leemtes in de benodigde kennis op te vullen.

Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het project *“Klimaat en water in veenweidegebieden; metingen op Zegveld”*. Het doel van dit project was *“het verhogen van inzicht en het kwantificeren, op perceelsschaal, van relaties die een belangrijke rol spelen bij de atmosferische emissies van CO₂, CH₄, en N₂O als gevolg van maatregelen in het waterbeheer.”*

Via waarnemingen en modelstudies is een kwantitatieve relatie tussen grondwaterstand en broeikasgasuitstoot afgeleid. Maar deze schatting gaat gepaard met grote onzekerheden en moet daarom als een verkenning worden beschouwd. Bovendien is de schatting het resultaat van waarnemingen en modelstudies die specifiek gelden voor de situatie bij de Regionaal Onderzoek Centrum “ROC Zegveld”. De resultaten zélf laten zien dat ze niet zonder meer vertaald kunnen worden naar andere gebieden.

De metingen

In dit onderzoek zijn twee soorten metingen uitgevoerd om de overdracht van gassen tussen de bodem en de atmosfeer bij Zegveld te bepalen. Het ene type, een zogenaemde micrometeorologische techniek, is toegepast op CO₂. Het andere type, waarbij zogenaemde fluxkamers worden gebruikt, is toegepast op N₂O en CH₄.

De techniek waarmee CO₂-stromen werden bepaald is toegepast op enige hoogte boven het maaiveld. Dit heeft als voordeel dat de gemeten gasuitwisseling representatief is voor een flink stuk van het perceel. De methode is geschikt om langdurig en continu te meten, zodat ook belangrijke pieken en dalen in het transport van CO₂ worden gezien. Bovendien kan een dagelijkse gang in de broeikasgasuitstoot bepaald worden. Nadeel is dat, afhankelijk van windrichting en windsnelheid, ook bijdrages aan de uitstoot kunnen worden meegenomen van stukken land die eigenlijk niet bemonsterd moesten worden. Dit effect is via modelberekeningen zo goed mogelijk uit de huidige dataset verwijderd. Verder is de methode technisch geavanceerd, maar vereist nogal wat nabewerking. De stappen in deze nabewerking zijn het onderwerp van wetenschappelijke discussie. Toch wordt de techniek voor het meten van de uitwisseling van CO₂ tussen oppervlak en atmosfeer inmiddels als een standaard beschouwd. De onzekerheid in de methode wordt doorgaans geschat op 10 à 20 %.

De N₂O- en CH₄-uitwisseling is bepaald door middel van fluxkamers. Dit is een in veel studies toegepaste, robuuste methode. De gegevens van één fluxkamer zijn representatief voor één punt. Gezien de grote variatie van plaats tot plaats is een erg groot aantal metingen nodig om een betrouwbaar gemiddelde voor een perceel te bepalen. Gezien het grote aantal benodigde waarnemingen worden veldmetingen met fluxkamers meestal niet continu uitgevoerd. Dit heeft weer tot gevolg dat een belangrijk deel van de belangrijke pieken en dalen in de stromen van de broeikasgassen gemist wordt, en meestal ook geen dagelijkse gang bepaald wordt. In deze studie zijn 10 fluxkamers gebruikt. De statistische onzekerheid in het gemiddelde van de 10 kamers was afhankelijk van de situatie en bedroeg 20-200%.

De eerste, oriënterende bepalingen van de CO₂-stromen zijn uitgevoerd in de zomer van 2001. In het jaar 2002 zijn deze metingen uitgevoerd in april, mei, juni en september. In deze periodes vonden de metingen continu plaats. Waarnemingen aan N₂O en CH₄ met de fluxkamers werden eens per twee weken tot tweemaal per week uitgevoerd, in de periode mei 2001- juni 2002. De meeste fluxkamer waarnemingen werden verricht in periodes met de grootste variaties in de grondwaterstand.

Zowel de CO₂ metingen als de N₂O en CH₄ metingen zijn uitgevoerd op een “nat perceel” en een “droog perceel”, ROC Zegveld. Bij natte percelen wordt in het groeiseizoen gestreefd naar een grondwaterstand van circa 35 cm onder het maaiveld. Bij droge percelen is het streefpeil circa 70 cm onder het maaiveld. Deze streefpeilen worden 's zomers redelijk benaderd. In de winter bevindt de grondwaterspiegel zich dicht bij het maaiveld, en zijn de verschillen tussen de percelen kleiner.

Directe vergelijking “droog” versus “nat”

Eerst zijn de meetgegevens van de gasuitwisseling op het droge en het natte perceel direct met elkaar vergeleken. In het geval van CO₂ is daarbij een onderscheid gemaakt tussen uitstoot en opname. De uitstoot als gevolg van ademhaling van de planten en omzetting van organisch materiaal in de bodem wordt verder “respiratie” genoemd. Opname van CO₂ voor groei van planten, hier voornamelijk gras, wordt in het vervolg aangeduid met “fotosynthese”.

De respiratie op het natte veld was gemiddeld lager dan die op het droge veld, maar ook de fotosynthese was lager. In de directe meetgegevens blijft netto dan slechts een klein of verwaarloosbaar verschil in CO₂-uitwisseling over. Opgeteld over een heel jaar ontstaan echter wél verschillen in de netto CO₂-overdracht (zie *Jaarbalansen*).

De geringere respiratie op het natte perceel is in overeenstemming met het eerder geschetste beeld dat veen bij lagere waterstanden sneller wordt afgebroken en daarbij meer CO₂ produceert. De huidige gegevens zijn hiervan echter géén directe bevestiging. Andere beheersfactoren dan het reguleren van de grondwaterstand zouden een rol kunnen spelen. Dit wordt vooral duidelijk bij een analyse van de fotosynthese waar een invloed van bemesting en beweiding lijkt op te treden.

De N₂O-uitstoot is gemiddeld lager bij het natte perceel dan bij het droge. 's Zomers is de uitstoot gemiddeld groter dan 's winters. Blijkbaar belemmeren nattere omstandigheden in de bodem doorgaans de productie van N₂O. Net als in eerdere studies is ook in de huidige waarnemingen sprake van een enorme variatie in de N₂O-uitstoot van plaats tot plaats en van dag tot dag. Deze variatie vergroot de onzekerheid in de analyses en de resultaten. Technieken, zoals toegepast in het geval van CO₂, kunnen helpen om vat te krijgen op deze variaties en de onzekerheid in de totale uitstoot over langere periodes te verkleinen. Ontwikkelingen om deze technieken ook geschikt te maken voor continue metingen aan de CH₄ en N₂O stromen zijn in volle gang. Voor studies naar de achterliggende processen is een combinatie van zulke technieken en waarnemingen met fluxkamers nodig.

De CH₄-waarnemingen zijn door meettechnische problemen te onbetrouwbaar gebleken en niet verder geanalyseerd.

Jaarbalansen: berekeningswijze

Voor beleidsdoeleinden, zoals evaluatie van maatregelen onder het Kyoto-protocol, zijn de sommen van de opname en uitstoot van broeikasgassen over een jaar interessant. Deze “jaarbalansen” zijn hier als volgt uit de meetgegevens geschat.

Een combinatie van twee modellen is gebruikt om de toestand van de bodem bij ROC Zegveld in de jaren 2001 en 2002 na te bootsen. Het eerste model, SWAP, beschrijft de vochttoestand en de temperatuur in de bodem en de daaraan verbonden transporten van vocht en warmte. Het tweede model, ANIMO, gebruikt de resultaten van SWAP om de omzetting en het transport van organisch materiaal en stikstofverbindingen in de bodem na te bootsen. De modelstudies zijn uitgevoerd met behulp van de waargenomen grondwaterstanden en weerkundige gegevens over

2001 en 2002, in combinatie met een beschrijving van de bodemkarakteristieken bij ROC Zegveld en het bemestingsschema. Dit laatste is belangrijk in verband met de toevoer van stikstof aan de bodem en de mogelijke effecten daarvan op de N₂O productie.

Voor de waarnemingsdagen in 2001 en 2002 is vervolgens een statistisch verband bepaald tussen de meetgegevens en de modelresultaten. Op basis van die analyse zijn de volgende modelresultaten gebruikt voor het berekenen van de jaarbalansen: minimumtemperatuur en zuurstofgehalte net onder het maaiveld voor de respiratie; hoeveelheid licht, verdamping en maximumtemperatuur voor de fotosynthese; waterverzadigingsgraad, bodemtemperatuur, zuurstofgehalte en omzettingssnelheid van nitraat net onder het maaiveld voor de N₂O-uitwisseling. Onderscheid naar perceel maakte de statistische verbanden aanzienlijk sterker. Dit duidt op een belangrijke invloed van omstandigheden, anders dan de grondwaterstand, die specifiek voor één veld gelden.

De gevonden statistische verbanden voor CO₂ en N₂O zijn daarna gebruikt om via de modelresultaten van SWAP en ANIMO per dag de uitstoot of opname van deze broeikasgassen in 2001 en 2002 te schatten, dus ook voor de dagen waarop géén metingen waren uitgevoerd. Voor CH₄ is eveneens een reeks van dagelijkse opname of uitstoot in 2001 en 2002 berekend door gebruik te maken van een eerder in de literatuur gepubliceerde relatie tussen grondwaterstand en CH₄-uitwisseling bij ROC Zegveld. Optellen van deze resultaten over alle dagen in een jaar leverde de jaarbalans in termen van netto uitstoot of opname van de gassen. Daarbij is rekening gehouden met het feit dat N₂O en CH₄ sterkere broeikasgassen zijn dan CO₂. Door de uitwisseling per gas te vermenigvuldigen met het “verwarmingsvermogen” ten opzichte van CO₂ wordt een balans in zogenoemde “CO₂-equivalenten” uitgedrukt.

Aan de balans voor netto gasuitwisseling kan ook de afvoer van materiaal via beweiden en maaien worden toegevoegd. Het op die manieren afgevoerde organisch materiaal stamt van eerder opgenomen CO₂. In de balans kan dit worden verwerkt door dit materiaal terug te rekenen naar de bijbehorende CO₂-opname. Daarbij wordt dan geen rekening gehouden met het exacte verdere lot van dit materiaal, dat niet specifiek aan een perceel of aan waterbeheer gebonden is. De hierbij horende vervolguitstoot van broeikasgassen, bijvoorbeeld via respiratie of vergisting door koeien, kan namelijk sterk beïnvloed worden door uitstootbeperkende maatregelen.

Jaarbalansen: resultaten voor 2001 en 2002

De berekende gemiddelde balans voor 2001 en 2002, gegeven in tabel 8 voor twee statistische modellen, komt uit op een afvoer 18-22 en 28-30 ton CO₂-equivalenten per hectare per jaar voor het natte, respectievelijke droge perceel. 63-91 % hiervan is afvoer via beweiding of maaien, en dus niet direct aan waterbeheer te koppelen. De rest is een netto uitstoot van broeikasgas (CO₂+N₂O+CH₄). Deze bedraagt 1.6 - 5.6 ton CO₂-equivalenten per hectare per jaar voor het droge perceel, tegen 9.4 - 11.1 ton CO₂-equivalenten per hectare per jaar voor het natte. Het vervolg gaat over de directe gasuitwisseling op de percelen.

Respiratie en fotosynthese zijn de belangrijkste onderdelen van de balans, met een gemiddelde uitstoot, respectievelijk opname rond 60 ton CO₂-equivalenten per hectare per jaar. Deze resultaten voor CO₂ zijn redelijk in overeenstemming met een eerder op vergelijkbare experimenten gebaseerde CO₂-balans bij ROC Zegveld. Net als bij de individuele waarnemingen is de geschatte respiratie op jaarbasis gemiddeld kleiner bij het natte perceel, ongeveer 7%. De totale fotosynthese is gemiddeld hoger op jaarbasis, vooral door de veel hogere, maar minder betrouwbaar geachte, berekende bijdrage in 2001.

Uiteindelijk telt in de balans van broeikasgasuitwisseling de netto CO₂-uitstoot. Deze som is voor het natte perceel erg gevoelig voor de gebruikte statistische relatie. De meest betrouwbaar geachte schatting levert een gemiddelde totale jaaruitstoot van 6.5 ton CO₂-equivalenten per hectare op het droge perceel, en 2.7 op het natte. De bijdrage van de N₂O-uitstoot is volgens deze berekeningen gemiddeld ongeveer 2.8-3.1 ton CO₂-equivalenten per hectare per jaar op het natte perceel en 2.9-4.7 ton CO₂-equivalenten op het droge. Het aandeel van N₂O in de netto uitstoot van broeikasgassen uit de percelen is typisch zo'n 30-50%. In alle gevallen is de berekende bijdrage van de CH₄-uitwisseling aan de jaarbalans miniem.

Verschillen van jaar tot jaar en relatie met grondwaterstand

Om ook inzicht te krijgen in de variaties van jaar tot jaar zijn op eenzelfde wijze als voor 2001 en 2002 jaarbalansen opgesteld over de hele periode 1992-2002. In de jaren vóór 2001 zijn in dit geval echter geen waarnemingen voorhanden om de schattingen te "ijken".

Uit de variatie in de balansen van jaar tot jaar konden kwantitatieve verbanden afgeleid worden tussen jaartotaal van de broeikasgasuitstoot en jaargemiddelde grondwaterstand. Deze duiden op een reductie in de broeikasgasuitstoot van 0-2 (1.1) ton CO₂-equivalenten per hectare per jaar, per cm verhoging van de jaargemiddelde grondwaterstand. De berekende reductie is echter uitermate gevoelig voor de gebruikte statistische verbanden tussen waarnemingen en modelresultaten. Dit soort onzekerheden kan in de toekomst verkleind worden door gebruik te maken van modellen die direct de uitstoot van de gassen beschrijven op basis van proceskennis, en niet alleen pas na toepassing van statistische modellen op de uitvoer.

De totale onzekerheid in het resultaat is nog groter dan aangegeven in de breedte van bovengenoemd interval. Deze extra onzekerheid komt voort uit de onzekerheid in de metingen, in de gebruikte modellen SWAP en ANIMO, in de gebruikte statistische relaties tussen metingen en modeluitvoer, en uit de mogelijke bijdrage van de aan- en afvoer van materiaal die niet via de atmosfeer boven de percelen verloopt, maar bijvoorbeeld via de sloten en het grondwater. Tenslotte kan er sprake zijn van drempelwaardes die overschreden worden, waardoor de hier gebruikte relaties niet meer geldig zijn. Zo kan de uitstoot van CH₄ enorm toenemen als de grondwaterspiegel zich langdurig tot op enkele centimeters van het maaiveld bevindt, zoals in natuurlijke veengebieden. Het daadwerkelijke verloop van de grondwaterstand binnen een jaar zou daarom een belangrijke rol kunnen spelen.

Hoofdconclusies en aanbevelingen voor toekomstig onderzoek

De data en de modelberekeningen van deze studie geven aan dat reductie van de uitstoot van broeikasgassen via verhoging van de grondwaterstand in veenweidegebieden mogelijk is. De reductie kan 0-2 (gemiddelde schatting: 1.1) ton CO₂-equivalenten per jaar per hectare en per cm verhoging van de jaargemiddelde grondwaterstand bedragen. De onzekerheden zijn echter groot. Deze zijn voor een deel het gevolg van de enorme variatie in de uitwisseling van broeikasgassen in plaats en tijd. De variatie beperkt de mogelijkheden om via processtudies het systeem bodem-plant-atmosfeer en de relaties met de uitstoot van broeikasgassen te bestuderen. Om goed met deze variatie om te kunnen gaan en uiteindelijk de onzekerheid in de berekening van jaarbalansen te verkleinen zijn continue metingen nodig, die representatief zijn voor een heel perceel. Micrometeorologische methodes bieden hier hun voordelen, maar voor processtudies blijven daarnaast waarnemingen met fluxkamers nodig. Met het oog op processtudies en het opstellen van jaarbalansen zijn ook uitgebreide waarnemingen nodig in bodem, water en atmosfeer. De proceskennis kan gebruikt worden in modellen die direct de uitstoot van de gassen kunnen beschrijven, en daarmee de huidige statistische modellen kunnen vervangen.

1 Inleiding

1.1 Maatschappelijke context

Het veenweidelandschap is karakteristiek voor Nederland en is ook op Europese schaal bijzonder. Kenmerkend is de combinatie van open water, vergezichten, smalle percelen en koeien in de wei. Exploitatie van dit gebied voor de veehouderij maakt verlaging van de grondwaterspiegel noodzakelijk. Dit impliceert oxidatie van het veenpakket, en daarmee daling van het maaiveld, wat weer een grotere waterafvoer noodzakelijk maakt. Op termijn is het verdwijnen van dit landschap onvermijdelijk.

De wens om dit proces te voorkomen, of op zijn minst te vertragen, is vastgelegd in het Tweede Structuur Schema Groene Ruimte (SGR2). In het kader hiervan is door Gerritsen en Kwakernaak (2002) een aantal opties uitgewerkt voor aangepast waterbeheer in veenweidegebieden, gericht op het behoud van deze gebieden of de vertraging van het oxidatieproces. Daarbij zijn vooral de gevolgen van vernatting voor de veehouderij en de daarmee samenhangende sociaal-economische en juridische aspecten beschouwd.

Een aan deze problematiek gekoppeld aspect is de mogelijke relatie tussen het waterbeheer in veenweidegebieden en de uitstoot van broeikasgassen, met name kooldioxide (CO_2), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O). De toegenomen oxidatie van het veenpakket bij lagere grondwaterstand gaat gepaard met een verhoogde uitstoot van CO_2 en waarschijnlijk van N_2O (Velthof, 1997). Daarentegen zijn er aanwijzingen voor een reductie van de CH_4 -uitstoot, of zelfs een omslag naar opname (Van den Pol-Van Dasselaar *et al.*, 1997).

De huidige, wereldwijde toename van de atmosferische concentraties van bovengenoemde gassen kan leiden tot klimaatverandering (IPCC, 2001). In een eerste poging om deze ontwikkeling te keren is onder het zogenoemde Kyoto-protocol afgesproken om de uitstoot van broeikasgassen te reduceren. Onder dit protocol is Nederland in EU-verband gebonden aan een reductie met 6% van de uitstoot van broeikasgassen in 2008-2012 ten opzichte van 1990 (VROM, 1999). Het beleid is erop gericht om 50% van de reductiedoelstelling binnen Nederland te realiseren. Een eventuele netto afname van de broeikasgasuitstoot uit veenweidegebieden door aangepast waterbeheer zou op termijn meegewogen kunnen worden in de evaluatie van maatregelen onder het Kyoto-protocol. De kennis van de relatie tussen waterhuishoudkundige maatregelen en broeikasgasemissies is momenteel te beperkt om tot de daarvoor benodigde, verantwoorde extrapolaties te komen. Het in dit rapport beschreven onderzoek was erop gericht om enkele leemtes in de kennis op te vullen.

Doel

Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het project “*Klimaat en water in veenweidegebieden; metingen op Zegveld*”. Het doel van dit project is het verhogen van

inzicht en het kwantificeren, op perceels-schaal, van relaties die een belangrijke rol spelen bij de atmosferische emissies van CO₂, CH₄, en N₂O als gevolg van maatregelen in het waterbeheer.

1.2 Wetenschappelijke achtergrond van de relatie tussen broeikasgasemissies en waterbeheer in veenweidegebieden

1.2.1 CO₂

De netto overdracht van CO₂ tussen de atmosfeer en de bodem plus vegetatie wordt bepaald door opname via fotosynthese en uitstoot via respiratie. Deze overdrachtsprocessen worden op hun beurt weer beïnvloed door processen in de verschillende compartimenten (planten, organisch materiaal in de bodem, water- en gasfase) waarin koolstof kan worden opgeslagen (zie Van Breemen en Feijtel, 1990, voor een bespreking).

In veengebieden is een grote voorraad koolstof aanwezig in het veenpakket. Dit pakket is ontstaan doordat in het verleden door planten gevormd organisch materiaal niet of onvolledig is afgebroken door zuurstofgebrek, als gevolg van een overmaat aan water. Ontwatering leidt alsnog tot oxidatie van dit eerder opgeslagen organisch materiaal, en daarmee tot een toename van de bodemrespiratie ten opzichte van een volledig nat veen. Ontwaterd veen wordt daarom beschouwd als een bron van CO₂ (Bouwman, 1990). Vernatting van een eerder ontwaterd veen vertraagt het in gang gezette oxidatieproces opnieuw, waarmee de CO₂-emissie weer gereduceerd zou kunnen worden.

1.2.2 CH₄

Productie van CH₄ is een microbiologisch proces waarbij organisch materiaal in de bodem onder anaërobe condities wordt afgebroken. Ook consumptie van CH₄ is een microbiologisch proces dat op gang komt zodra zuurstof beschikbaar is. Het netto transport van CH₄ naar de atmosfeer hangt daarmee sterk af van de verdeling van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal en zuurstof in de bodem. Deze factoren worden sterk beïnvloed door de hoeveelheid vocht in de bodem. Daarnaast kan methaantransport via planten en gasbellen plaatsvinden, waarbij CH₄ wordt afgeschermd voor eventuele oxidatie in de bodem (Segers, 1998).

Door verlaging van de grondwaterstand vanaf maaiveldniveau zal de CH₄-uitstoot waarschijnlijk afnemen door toenemende oxidatie van CH₄ in de drogere bodemlagen (Segers, 1998; Meixner en Eugster, 1999). Wanneer de oxidatie snel genoeg verloopt kan de CH₄ concentratie in gasfase van de bovenste bodemlagen lager worden dan die in de atmosfeer. Hierdoor zal CH₄ vanuit de atmosfeer naar de bodem gaan stromen, en vindt dus opname plaats.

Van den Pol – Van Dasselaar *et al.* (1997) vonden een netto depositie van CH₄ in ontwaterde veenweidegebieden die intensief voor landbouw gebruikt worden. Deze gebieden fungeren dan als een put voor CH₄. Van den Pol – Van Dasselaar *et al.* (1997) vonden ook een klein, maar significant effect van de grondwaterstand op de CH₄-opname, die afnam met een stijgende grondwaterspiegel. In vernatte veengebieden werd daarentegen een aanzienlijke emissie gevonden (Van den Pol-Van Dasselaar *et al.*, 1999). De mate waarin de CH₄-uitstoot bij vernatting van een eerder ontwaterd gebied toeneemt wordt mede bepaald door de vegetatie die ontstaat na de vernatting. Verder heeft de CH₄-vormende bacterieflora tijd nodig om zich te ontwikkelen. Bij totale vernatting tot aan of vlak onder het maaiveld kan het enkele jaren of langer duren voordat de CH₄-uitstoot vergelijkbaar is met die in natuurlijke, ongestoorde veengebieden (Tuittila *et al.*, 2000).

1.2.3 N₂O

Ook N₂O-emissies zijn voornamelijk het resultaat van microbiologische processen in de bodem, namelijk nitrificatie en denitrificatie.

Nitrificatie is een aëroob proces waarbij ammoniak (NH₄⁺) wordt geoxideerd tot nitraat (NO₃⁻). Dit kan gepaard gaan met productie van N₂O bij een relatief lage zuurstofconcentratie. Denitrificatie is een anaëroob proces waarbij NO₃⁻ wordt gereduceerd tot N₂O en stikstofgas (N₂). De verhouding tussen N₂O en N₂ productie hangt af van de concentraties van zuurstof en NO₃⁻, de temperatuur en de zuurgraad (pH).

De totale hoeveelheid van het in beide processen geproduceerde N₂O hangt af van de concentraties van NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻ en zuurstof, van de hoeveelheid afbreekbaar organisch materiaal, het vochtgehalte en de temperatuur (Bouwman, 1990). De uiteindelijke N₂O-emissie uit de bodem wordt daarnaast bepaald door het diffusieproces in de bodem. Het netto effect van alle processen samen wordt vaak gerelateerd aan het bodemvocht, dat een centrale rol lijkt te spelen. Vaak is er sprake van een maximum in de N₂O-emissie bij een waterverzadigingsgraad van ongeveer 80% (Meixner en Eugster, 1999). Dit maximum kan echter ook bij een hogere verzadigingsgraad liggen, of de relatie met bodemvocht kan zich bij niet-limiterende gehalten van stikstof manifesteren als een exponentiële (Smith *et al.* 1998). Afhankelijk van de uitgangssituatie en van de geldende relatie tussen N₂O-emissie en bodemvochtgehalte kan vernatting in theorie dus tot toename of afname van de N₂O-emissie leiden.

Velthof (1997) vond bij veenweidegebieden in Nederland lagere N₂O-emissies bij hogere grondwaterspiegels. Zijn data impliceren dus een emissiereductie bij vernatting.

1.2.4 Wetenschappelijke vragen

Uit bovenstaande blijkt dat uitstoot en opname van CO₂, CH₄ en N₂O zijn gekoppeld. De veelheid aan factoren die de productie en consumptie van deze gassen in de bodem beïnvloedt maakt de doorgaans gevonden relaties tussen gastransport en omgevingsfactoren zwak. De interjaarlijkse variabiliteit is aanzienlijk. De enorme ruimtelijke en temporele variabiliteit van met name de CH₄ en N₂O uitwisseling (Bouwman, 1990; Van Den Pol-Van Dasselaar *et al.*, 1999; Velthof, 1997) maken opschaling naar grotere gebieden en langere tijdsintervallen extreem lastig en vergroten daarmee de onzekerheid. Deze variabiliteit is mede de oorzaak van het feit dat eerder gevonden verbanden tussen de gastransporten en omgevingsvariabelen zwak zijn. De relatie tussen waterbeheer en gekoppelde broeikasgasemissies in veenweidegebieden is te onzeker om het effect van waterhuishoudkundige beleidsmaatregelen op de uitstoot van broeikasgassen naar ruimte en tijd te kunnen extrapoleren. Het onderhavige onderzoek beoogde enige leemtes in de kennis op te vullen. Het onderzoek is gestart rond de volgende centrale vragen:

- wat zijn de effecten van het waterbeheer op de gekoppelde uitstoot en opname van CO₂, CH₄ en N₂O?
- welke factoren spelen een rol in de relatie tussen waterbeheer en de uitstoot van broeikasgassen?
- kan door vernatting van veenweidegebieden de uitstoot van broeikasgassen worden verminderd?

1.3 Aanpak; opbouw van het rapport

De huidige studie bouwt voort op de studie van Langeveld *et al.* (1997) en maakt gebruik van een combinatie van waarnemingen en modellen. In 2001 en 2002 zijn de transporten van CO₂, N₂O en CH₄ tussen de bodem en de atmosfeer bepaald bij Regionaal Onderzoek Centrum “ROC Zegveld” in het veenweidegebied. De metingen vonden plaats op een “droog perceel”, met laag oppervlaktewaterpeil (streefpeil in het groeiseizoen circa 70 cm –mv) en op een “nat perceel”, met hoog oppervlaktewaterpeil (35 cm –mv) in de aangrenzende sloten. De metingen worden verder beschreven in het hoofdstuk *Metingen*. De directe resultaten van de waarnemingen zijn vervolgens geanalyseerd op verschillen tussen het droge en het natte perceel. Deze analyse is beschreven in het hoofdstuk *Resultaten van de metingen*.

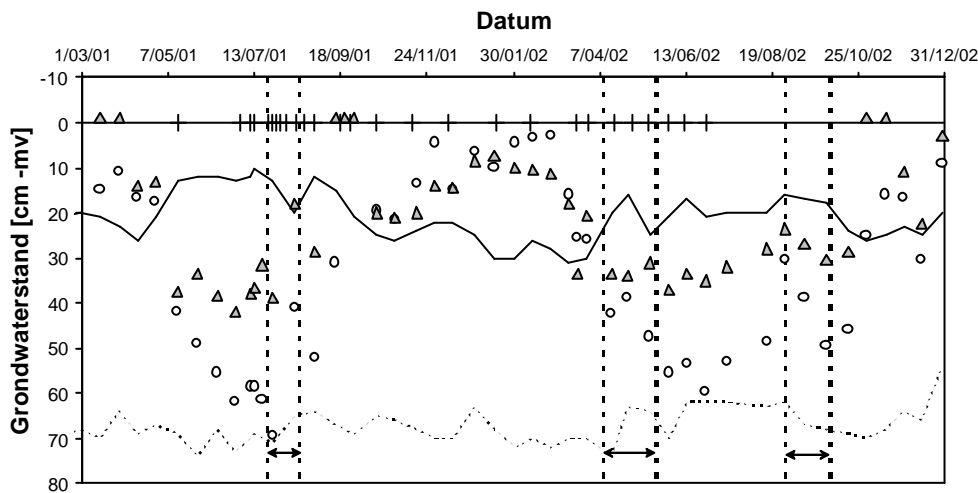
De metingen leveren slechts een beperkt beeld op van het verloop van de gasuitwisseling gedurende een jaar. Voor beleidsdoeleinden is inzicht in de totale balans van uitstoot en opname over een jaar wenselijk. Om aan de hand van de huidige waarnemingen toch zo'n jaarbalans te kunnen schatten is een relatie gelegd tussen de gemeten overdracht van gas tussen bodem en atmosfeer enerzijds, en omgevingsvariabelen zoals grondwaterstand anderzijds. Deze relaties zijn vervolgens gekoppeld aan modellen, die mede op basis van de door het jaar heen waargenomen variaties in omgevingsvariabelen de gastransporten *interpoleren* naar tijdstippen waarvoor geen data beschikbaar zijn. Deze stap is beschreven in het hoofdstuk *Modelstudies en jaarbalansen*. Daarna volgt een *Discussie*, die vooral ingaat op

onzekerheden. Hierin vormt de interjaarlijkse variabiliteit een belangrijk aspect, dat besproken wordt aan de hand van een *extrapolatie* naar een periode van 11 jaar. Verder wordt aandacht besteed aan mogelijke effecten op broeikasgasemissies via veranderingen in de bedrijfsvoering, die mede het gevolg kunnen zijn van waterhuishoudkundige maatregelen. Tenslotte volgen nog de *Conclusies en aanbevelingen*.

2 Metingen

2.1 Algemeen

In 2001 en 2002 zijn metingen uitgevoerd aan de overdracht van CO₂, CH₄ en N₂O tussen de bodem en de atmosfeer bij Regionaal Onderzoek Centrum “ROC Zegveld” (hierna: Zegveld). Om een relatie met waterbeheer *i.c.* grondwaterstand te kunnen leggen zijn de metingen uitgevoerd op een “nat” en een “droog” perceel. De grondwaterstand op deze percelen wordt gereguleerd aan de hand van het slootpeil. Via dit peilbeheer is gestreefd naar een grondwaterstand van ongeveer 35, respectievelijk ongeveer 70 cm -mv. Dit is geïllustreerd in figuur 1, waar de bij Zegveld waargenomen grondwaterstanden en oppervlaktewaterpeilen van maart 2001 tot december 2002 zijn weergegeven (waarnemingen beschikbaar gesteld door K. van Houwelingen, ROC Zegveld). Terwijl het slootpeil relatief weinig varieert, is de amplitude in de grondwaterstanden veel groter. De kleine veranderingen in het slootpeil rond het droge perceel werken nauwelijks door in de grondwaterstand. Daarentegen zijn slootpeil en grondwaterstand van het natte perceel enigszins *negatief* gecorreleerd ($r^2=0.49$). Dit suggereert een ingewikkelde, indirecte relatie tussen grondwaterstand en slootpeil bij Zegveld. In deze studie wordt grondwaterstand (GWS) als relevante variabele gebruikt. Voor details omtrent het waterbeheer bij Zegveld verwijzen wij naar Beuving en van Den Akker (1996).



Figuur 1. Gemeten grondwaterstanden (driehoeken en cirkels) en slootpeilen (doorgetrokken en onderbroken lijn) op de percelen 3 (“droog”, cirkels en onderbroken lijn) en 13 (“nat”, driehoeken en doorgetrokken lijn) van ROC Zegveld, gedurende de periode maart 2001 tot en met december 2002. Dagen waarop de N₂O-flux werd gemeten zijn gemarkeerd met behulp van de verticale streepjes op de horizontale nullijn. De periodes met EC-metingen zijn aangegeven met behulp van de verticale onderbroken lijnen en de pijlen. In 2001 vonden deze metingen na elkaar op respectievelijk het natte en het droge perceel plaats, in 2002 simultaan op beide percelen.

In de zomerperiode worden de streefpeilen qua grondwaterstand benaderd. De bijbehorende verschillen tussen het droge en het natte perceel kunnen in deze periode oplopen tot de verwachte 30 à 40 cm. In de tussenliggende periodes nadert de grondwaterspiegel op beide percelen het maaiveldniveau vaak tot op 10 à 20 cm. Bovendien worden regelmatig plassen waargenomen, vooral op het natte perceel (negatieve waarden in figuur 1). Afgezien van deze situaties met plassen, waarin de grondwaterpeilingen onbetrouwbaar zijn doordat de peilbuizen via de plassen vollopen, blijven typische verschillen tussen de beide percelen dan beperkt tot circa 10 cm.

2.2 CO₂-uitwisseling

2.2.1 Algemeen

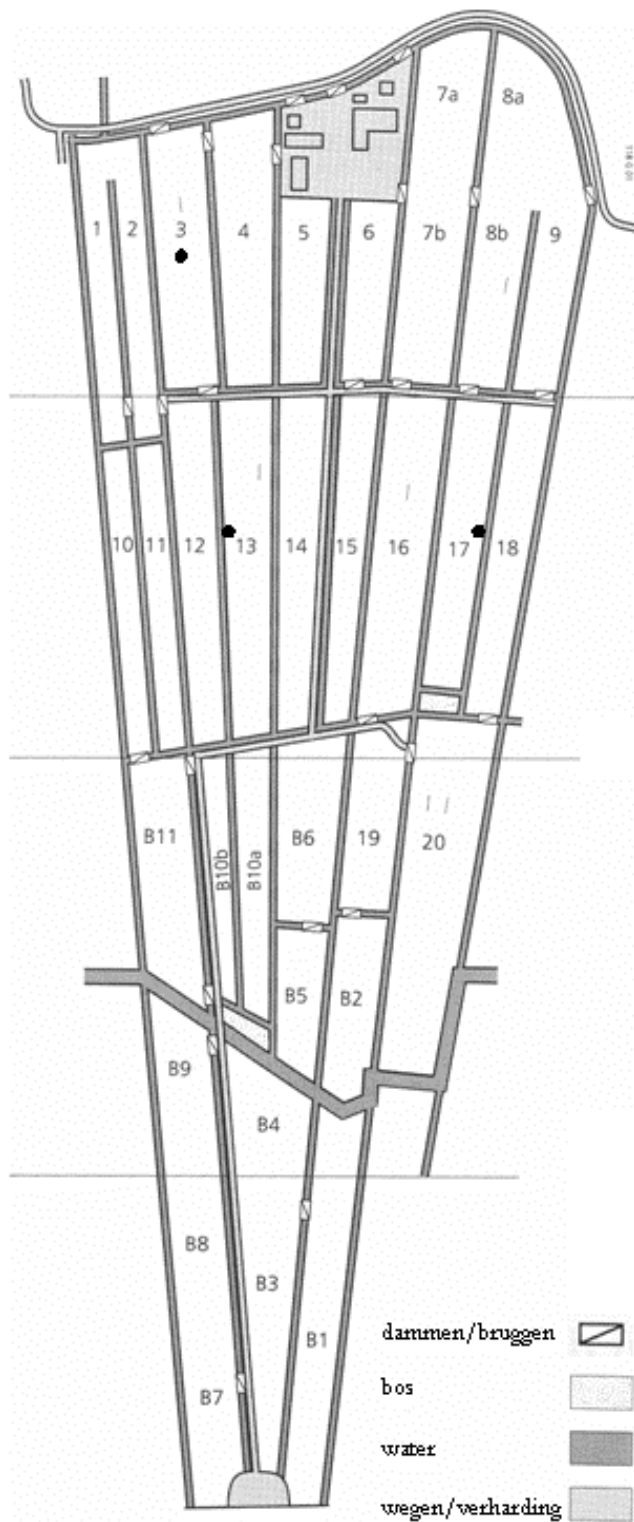
Voor CO₂ is de uitwisseling tussen de bodem en de atmosfeer (hierna: flux) bepaald met behulp van een zogenoemde micrometeorologische methode: de eddy-correlatie (EC) techniek. Deze methode wordt toegepast op enkele meters boven de percelen en levert data op die representatief zijn voor een wat groter deel van de percelen. Omdat de fluxen continu worden gemeten, en worden gemiddeld over 0.5 à 1 uur, kan de dagelijkse gang worden bepaald. In deze studie is de EC-methode toegepast als in Aubinet *et al.* (2000). Deze methodiek wordt wel beschouwd als een officiële Europese standaard.

Het brongebied van de CO₂-flux wordt de “flux-footprint” genoemd. De ligging van de flux-footprint is afhankelijk van de windrichting en de turbulentie, en moet door middel van modelberekeningen bepaald worden. Niet alle data zijn *per se* representatief voor het veld waar de metingen worden uitgevoerd: een deel van de flux kan van een ander perceel afkomstig zijn. Bij de kwaliteitscontrole van de data is aan dit probleem veel aandacht besteed (zie paragraaf 2.2.3).

Voor een juiste schatting van de CO₂-flux op basis van de EC-techniek moeten ook de fluxen van warmte en waterdamp bekend zijn (Webb *et al.*, 1980). Uiteraard leveren deze fluxen op zichzelf al waardevolle informatie op, bijvoorbeeld bij de interpretatie van de data. Ook de overdracht van impuls naar het oppervlak is gemeten, maar deze data zijn hier alleen gebruikt voor een beoordeling van de kwaliteit van de EC-metingen.

2.2.2 Periode en locatie

De EC-metingen vonden plaats in de zomer van 2001 en in het voor- en najaar van 2002. Deze periodes zijn in figuur 1 gemarkeerd met behulp van de verticale onderbroken lijnen en de pijlen.

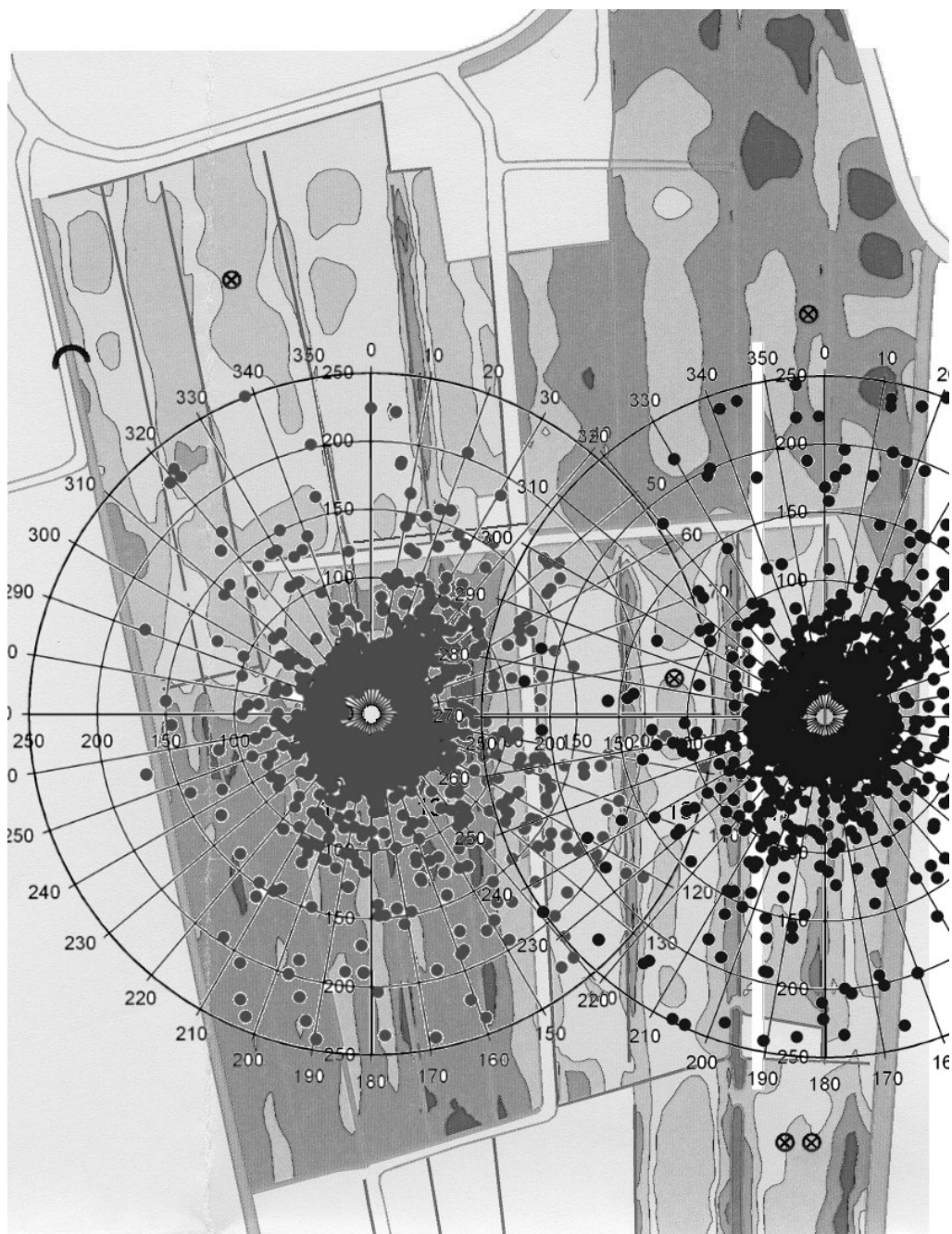


Figuur 2. Perceelindeling bij ROC Zegveld. Meetlocaties zijn aangeduid met zwarte punten: micrometeorologische metingen (CO_2): perceel 13 (“nat”) en 17 (“droog”). Fluxkamermetingen (N_2O , CH_4): perceel 3 (“droog”) en perceel 13 (“nat”).

De waarnemingen in 2001 zijn uitgevoerd in samenwerking met het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). Ze dienden ter validatie van het EC-systeem en ter oriëntatie op de te verwachten verschillen tussen de droge en de natte percelen bij Zegveld. Bijlage 1 bevat een verslag van deze oriënterende metingen en de resultaten ervan. De metingen toonden de betrouwbaarheid van het Alterra EC-systeem aan en gaven een eerste indruk van mogelijke verschillen in de CO₂-flux door verschillen in peilbeheer. Vanwege het oriënterende karakter van de metingen, en omdat de metingen in 2001 niet simultaan op een droog en nat perceel plaatsvonden, zijn de resultaten hiervan alleen gebruikt voor een beperkte validatie van de jaarbalansen. Onze directe analyse van de verschillen tussen het droge en het natte terrein zijn alleen gebaseerd op de resultaten uit 2002.

De EC-metingen in het voorjaar van 2002 werden uitgevoerd in samenwerking met de Leerstoelgroep Meteorologie en Luchtkwaliteit van de Universiteit Wageningen (METAQ). De metingen die representatief zijn voor een nat perceel (nummer 13, zie figuur 2) werden uitgevoerd van 10 April tot en met 21 mei en van 29 augustus tot en met 3 oktober. De metingen op het droge perceel (nummer 17, zie figuur 2) werden uitgevoerd van 11 april tot en met 20 mei, van 19 juni tot en met 6 juli, en van 29 augustus tot en met 3 oktober. Informatie over de bodemkarakteristieken van de percelen bij Zegveld is opgenomen in Appendix 1. Gedetailleerde informatie is tevens te vinden in Beuving (1984) en Beuving en van den Akker (1996).

Vanwege de nabijheid van de bedrijfsgebouwen en de daarmee samenhangende mogelijke verstoringen van de EC-metingen kon de CO₂-flux van een droog perceel helaas niet bepaald worden op perceel 3, waarvan de grondwaterstanden in 2001 en 2002 bekend zijn, en waar fluxkamermetingen werden uitgevoerd. De overeenkomst in het verloop van de grondwaterstanden op de verschillende soorten percelen lijkt echter voldoende om te kunnen aannemen dat de GWS van perceel 3 ook representatief is voor perceel 17. In het hiernavolgende wordt daarom steeds gesproken over het “droge perceel” en het “natte perceel”.



Figuur 3. Berekende (Schuepp et al., 1990) flux footprints voor de metingen in September 2002. Linker plot: droge perceel (13); rechter plot: natte perceel (17). Alleen de percelen van ROB Zegveld zijn getoond (zie ook figuur 2).

2.2.3 Kwaliteitscontrole

De flux-footprints van de metingen zijn berekend volgens de door Schuepp *et al.* (1990) voorgestelde methode. De EC-meetlocaties en de berekende bijbehorende flux-footprints voor september 2002 zijn weergegeven in figuur 3. Hieruit wordt duidelijk dat de meetlocatie aan een bepaald perceel wordt toegekend, maar dat de data ook representatief kunnen zijn voor een van de aangrenzende percelen. De footprint berekeningen zijn gebruikt om de data te screenen op representativiteit voor “droge” dan wel “natte” percelen. Als criterium is gebruikt dat tenminste 80% van de flux gegenereerd wordt op het type terrein (“droog”, perceel 15-18, of “nat”, perceel 10-14) waar de metingen verricht worden. 17% van de data voldeed niet aan dit criterium.

Andere hier gehanteerde kwaliteitscriteria zijn:

- De windsnelheid moet meer dan 1 m/s bedragen. Niet voldaan: 13%.
- De voelbare en latente warmteflux moeten beschikbaar zijn in verband met de uit te voeren Webb-correctie (Webb *et al.*, 1980). Niet voldaan: 3%.
- De verhouding tussen windsnelheid en de zogenoemde wrijvingsnelheid moet binnen redelijke grenzen blijven; bij benadering mag boven land een lineair verband tussen deze grootheden verwacht worden. Te grote afwijkingen van de regressielijn die dit verband voor deze dataset beschrijft zijn bepaald aan de hand van de door Wieringa (1973) voorgestelde methode. Niet voldaan: 0.6%.
- De waargenomen gemiddelde windsnelheid en de wrijvingsnelheid op de twee meetlocaties mogen niet te veel van elkaar verschillen. Ook hier is een lineaire regressie-analyse toegepast en is Wieringa (1973) gevolgd in de identificatie van te grote afwijkingen. Niet voldaan: 1%.

Technische problemen en ongunstige omstandigheden hebben vooral op het droge veld en in de voorjaarsperiode (april-mei) veel data-uitval veroorzaakt. Hierdoor zijn voor die periode uiteindelijk slechts 115 halfuur waarden verdeeld over 5 dagen beschikbaar voor een rechtstreekse vergelijking tussen het droge en het natte veld. Voor de periode van eind augustus tot begin oktober is het beeld beduidend gunstiger: in deze periode zijn 1094 gepaarde halfuur waarden beschikbaar, verdeeld over 36 dagen. Merk op dat de grootste uitval volgens bovenstaande criteria gerelateerd is aan de flux-footprint.

2.3 Uitwisseling van N₂O en CH₄

2.3.1 Algemeen

Voor de bepaling van de fluxen van N₂O en CH₄ is de zogenoemde fluxkamer gebruikt. Dit is een tot nu toe veelgebruikte, robuuste methode, die technisch relatief eenvoudig is in vergelijking met de EC-techniek. De methode levert een puntmeting van de flux op. Om een representatief beeld voor een wat groter deel van een perceel te krijgen moeten meerdere fluxkamers gelijktijdig worden gebruikt. Vanwege de grote lokale variabiliteit is een groot aantal kamers nodig. Dit maakt de methode relatief arbeidsintensief, zodat in de praktijk ook een puntmeting in de tijd wordt

uitgevoerd. Het gevolg is dat met deze metingen doorgaans geen dagelijks gang in de fluxen bepaald wordt.

2.3.2 Periode en locatie

N₂O en CH₄-fluxen zijn bepaald in de periode mei 2001 – juni 2002, door het Praktijkonderzoek Veehouderij (PV) in Lelystad. Per waarnemingsdag werden de fluxen op een droog en een nat perceel gemeten. Het merendeel van de metingen vond plaats op het percelenpaar 3 en 13 (zie figuur 2), en leidde tot een reeks van onafhankelijke gepaarde waarnemingen. De waarnemingsfrequenties varieerden van ongeveer éénmaal per maand in de winter tot één- à tweemaal per week in de zomer. De meest intensieve waarnemingen vonden plaats in een periode waarin de grondwaterstand sterk veranderde (voorjaar 2001). Een zeer beperkt aantal metingen is uitgevoerd op een derde perceel, maar de resultaten daarvan zijn hier verder buiten beschouwing gelaten.

2.3.3 Uitvoering van de metingen en gerelateerde berekeningen

Per perceel werden 10 PVC fluxkamers gebruikt. Acht kamers werden verdeeld over een denkbeeldige cirkel (doorsnede 4 meter), de overige kamers op ongeveer een halve meter van het middelpunt van de cirkel (plaatsing “zes uur”). De nominale hoogte van de kamers is 20 cm, en het nominale volume is 2.81 liter. De kamers zijn op een ring gezet die van te voren in de grond was geplaatst. Door variaties in de ringhoogte en oneffenheden van het oppervlak varieerde de actuele kamerhoogte enigszins. Doordat de kamers taps toelopen kan dit een behoorlijke variatie in het kamervolume betekenen. Deze variaties zijn verdisconteerd in de berekening van de fluxen.

Wanneer een kamer op de ring wordt geplaatst ontstaat een van de buitenlucht afgesloten systeem. De flux wordt bepaald door na enige tijd (0.5 à 1.5 uur) het concentratieverschil tussen kamer en buitenlucht te bepalen en daaruit de verandering in de hoeveelheid gas per tijdseenheid te berekenen. Hierbij wordt impliciet een lineair in de tijd toenemende concentratie in de kamer verondersteld. In de praktijk blijkt dit een goede aanname te zijn (Velthof, 1997).

De concentraties worden gecorrigeerd voor het interne volume van het instrument met het daarin achterblijvende gas van de vorige meting. Deze correctie is doorgaans in de orde van 3-5%. CO₂ beïnvloedt de metingen van N₂O en CH₄ en is tijdens de bemonstering verwijderd met behulp van Soda Lime.

Helaas hebben zich bij de bepaling van de CH₄-fluxen dusdanige meettechnische problemen voorgedaan dat alle data als onbruikbaar beschouwd moeten worden (Van Den Pol – Van Dasselaar, 2002, persoonlijke communicatie; Velthof, 2002, persoonlijke communicatie). Bij de bepaling van de N₂O-fluxen hebben zich geen

aanwijsbare problemen voorgedaan. In dit geval zijn 27 gepaarde waarnemingen aan het natte en droge perceel beschikbaar.

Tijdens de fluxmetingen werden ook luchttemperatuur en bodemtemperatuur bepaald. Bovendien werd een bodemmonster uit de toplaag genomen, waarvan later in het laboratorium het droge stof percentage is bepaald.

3 Resultaten van de metingen: droog versus nat

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een rechtstreekse vergelijking tussen de waargenomen fluxen op het droge en op het natte perceel gepresenteerd. De waargenomen gasuitwisseling is in feite een momentane balans tussen uitstoot en opname van een gas. De hier gehanteerde meetmethodes kunnen deze fluxcomponenten in principe niet onderscheiden. Maar in het geval van CO₂ wordt dit onderscheid tussen dag en nacht wel gemaakt. Daarmee kan toch een ruwe schatting worden verkregen van de afzonderlijke bijdrage door fotosynthese, leidend tot opname van CO₂, en respiratie, leidend tot uitstoot van CO₂. Dit onderscheid maakt het gemakkelijker om CO₂-flux balansen over langere periodes op te stellen (Hoofdstuk 4 en 5). De respiratie bestaat in feite ook weer uit verschillende componenten, zoals de onderhoudsademhaling van het gras op de percelen, en het CO₂ dat uitgestoten wordt na oxidatie van organisch materiaal in de bodem. Het is niet mogelijk om onderscheid te maken tussen deze afzonderlijke componenten van de respiratie. De term respiratie impliceert hier dus de bijdrage aan de atmosferische CO₂-flux door alle processen die leiden tot productie van CO₂.

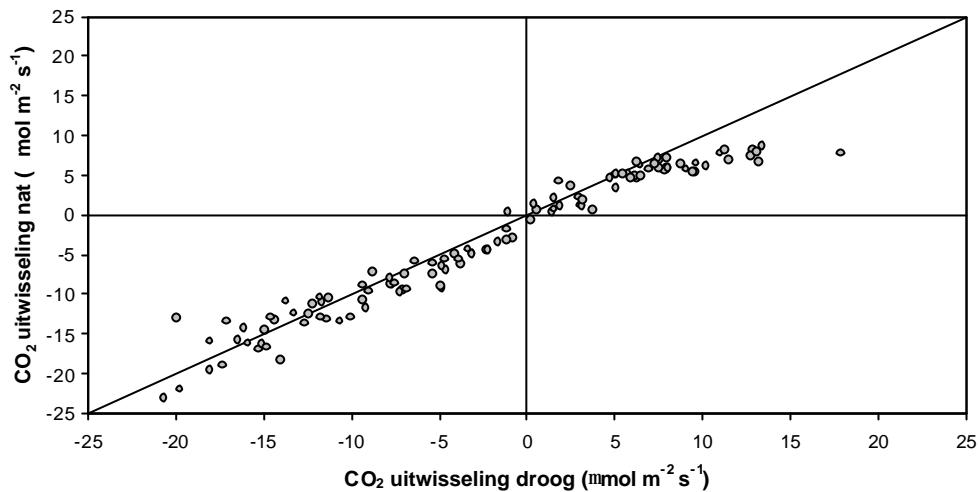
In het geval van de continue metingen van de CO₂-fluxen zijn fluxbalansen berekend over periodes van enkele dagen tot een maand. De puntwaarnemingen van de N₂O-fluxen maken dit onmogelijk zonder interpolatie of extrapolatie. De analyse van de N₂O data zal in dit hoofdstuk daarom beperkt blijven tot een bespreking van de momentane N₂O-fluxen en de verschillen tussen droge en natte percelen. Zowel voor CO₂ als voor N₂O vormen de in dit hoofdstuk gepresenteerde resultaten de basis voor de constructie van de fluxbalansen over een heel jaar. Deze komen in het volgende hoofdstuk aan de orde.

3.2 CO₂-fluxen

3.2.1 Gepaarde waarnemingen

In figuur 4 worden de beschikbare CO₂-fluxen van het droge en het natte perceel met elkaar vergeleken voor de gevallen waarin simultane metingen beschikbaar zijn. Onderscheid wordt gemaakt naar de resultaten van de meetperiodes april-mei en van augustus-oktober. De tijd zal in het vervolg aangeduid worden door middel van de dagnummers van het jaar 2002 (DOY).

Het opvallendste verschil tussen het natte en het droge perceel is de lagere positieve CO₂-flux bij het natte veld in het “voorjaar”, DOY 136-139. Dit duidt op minder respiratie op het natte perceel. Hierbij kan worden opgemerkt dat de verschillen in grondwaterstand gedurende deze periode relatief klein waren (figuur 1). In het “najaar”, DOY 241-276, treden iets grotere verschillen in het grondwaterniveau op. Een verband als in het voorjaar is door de spreiding in de data veel minder duidelijk, maar kan zeker niet uitgesloten worden.



Een verdere analyse van de CO_2 -fluxen wordt gegeven in tabel 1. Hier zijn gemiddelde fluxen opgenomen voor de data die in figuur 4 getoond worden. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt naar de richting van de CO_2 -flux (F_{CO_2}) op het *droge* perceel: $F_{\text{CO}_2} > 0$ (“uitstoot op het droge perceel”) en $F_{\text{CO}_2} = 0$ (“opname op het

droge perceel”). Dit is nog geen onderscheid tussen fotosynthese en respiratie: de bijdrage van respiratie is in alle fluxen verweven. De grotere fluxen bij uitstoot bestaan waarschijnlijk wel alleen uit respiratie. In enkele gevallen zal uitstoot op het droge perceel samen gaan met opname op het natte en *vice versa*.

Voor DOY 136-139 blijken alle verschillen statistisch significant. Bij uitstoot is de flux op het natte perceel gemiddeld ongeveer 30% lager, bij opname gemiddeld ongeveer 9% hoger. De gemiddelde flux, zonder onderscheid naar opname of uitstoot, levert een negatieve flux die ongeveer 50% groter is bij het natte perceel.