



Emissie van lachgas uit grasland op veengrond

Monitoring lachgasfluxen op melkveeproefbedrijf Zegveld
in de periode 2005 - 2009: 'De Zegveld database'

Alterra-rapport 2116
ISSN 1566-7197

M. Pleijter, C.L. van Beek en P.J. Kuikman

Emissie van lachgas uit grasland op veengrond

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van BSIK Klimaat voor Ruimte en medegefinancierd door Ministerie van EL&I (toenmalige ministerie van landbouw LNV) uit het strategisch onderzoekprogramma Kennisbasis 2 over Klimaatverandering en door Centrum Bodem van Alterra.

Projectcode 5237945-01

Emissie van lachgas uit grasland op veengrond

Monitoring lachgasfluxen op melkveeproefbedrijf Zegveld in de periode 2005 -
2009: 'De Zegveld database'

M. Pleijter. C.L. van Beek en P.J. Kuikman

Alterra-rapport 2116

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2011

Referaat

M. Pleijter, C.L. van Beek en P.J. Kuiman, 2011. Emissie van lachgas uit grasland op veengrond; Monitoring lachgasfluxen op melkveeproefbedrijf Zegveld in de periode 2005 - 2009. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2116, 82 blz.; 40 fig.; 25 tab.; 34 ref.

In het kader van het onderzoeksprogramma 'Klimaat voor ruimte' zijn op het melkveeproefbedrijf Zegveld in de periode 2005 – 2009 meer dan 6800 fluxmetingen uitgevoerd. De metingen hebben tot doel meer inzicht te verkrijgen in de ruimtelijke en temporele variabiliteit van de lachgasfluxen op perceelsniveau. De resultaten van de metingen op Zegveld tonen aan dat verhogen van de grondwaterstand waarschijnlijk leidt tot een lagere cumulatieve N₂O-emissies. maar een stijging van de temporele en ruimtelijke variabiliteit. Voor kwantificering van de N₂O-emissies moet daarom gebruik worden gemaakt van modelschattingen. Om de modellen te kunnen valideren en kalibreren zijn meer datasets nodig zoals met dit onderzoek is opgebouwd. De meetgegevens van dit onderzoek zijn vrij beschikbaar gesteld op internet.

Trefwoorden: broeikasgassen, emissie, fluxmetingen, grondwaterstand, lachgas, monitoring, onderwaterdrainage, variabiliteit, veengrond, veenweidegebied, waterbeheer.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2011 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info,alterra@wur.nl

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding,
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin,
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden,

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

Alterra-rapport 2116

Wageningen, november 2011

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Lachgas als broeikasgas	9
1.3 Vorming van lachgas	11
1.4 Doelstelling	12
1.4.1 Probleemstelling	12
1.4.2 Hypothese	13
1.4.3 Aanpak	13
2 Beschrijving van de proeflocatie	15
2.1 Ligging	15
2.2 Beheer van de proefpercelen	16
2.2.1 Waterbeheer	16
2.2.2 Bemesting en beweiding	17
2.3 Bodemgesteldheid	19
2.4 Weersgesteldheid tijdens de meetperiode	20
3 Materiaal en methode	23
3.1 Proefopzet en meetfrequentie	23
3.1.1 Meetfrequentie	23
3.1.2 Ruimtelijke opzet	24
3.2 Fluxkamers	26
3.3 Veldmetingen	26
3.3.1 Lachgasfluxen	26
3.3.2 Grondwaterstanden	29
3.3.3 Vochtgehalte	29
3.3.4 Bodemonsters	29
3.4 Data analyse	30
4 Bodemchemie	31
4.1 pH	31
4.2 Stikstof	31
4.3 Vochtgehalte	35
5 Resultaten	37
5.1 Gemiddelde lachgasemissie	37
5.2 Cumulatieve lachgasemissie (data set 1)	41
5.3 Variabiliteit van de lachgasemissies	42
5.4 Effect van hydrologische omstandigheden op de emissie van lachgas	44
5.5 Effect van bemesting en beweiden op de emissie van lachgas	48
5.6 'Peak hunting'	53
5.7 Zegveld database	56

6	Discussie	57
6.1	Data-analyse	57
6.2	Aanbevelingen	61
7	Conclusies	63
	Literatuur	67
	Bijlage 1 Soil inventarisatie Zegveld	71
	Bijlage 2 Stikstof bemesting en -opbrengsten	77
	Bijlage 3 Schematische weergave ligging fluxkamers	79
	Bijlage 4 ID en locaties fluxmetingen	81

Samenvatting

Volgens het Kyoto-verdrag is Nederland verplicht om verslag te doen van de uitstoot van broeikasgassen aan het United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in Bonn. Lachgas (N_2O) is een sterk broeikasgas. In Nederland wordt ongeveer 80% van de nationale emissie van lachgas veroorzaakt door de landbouw, dat komt neer op 4 á 5% van de totale broeikasemissie in Nederland (Emissieregistratie, 2008). Berekeningen van de emissie lachgas uit de landbouw zijn vaak gebaseerd op metingen over perioden van minder dan één jaar (Beek et al., 2011). De modelberekeningen missen hierdoor informatie over de jaarlijkse fluctuatie van de lachgasemissie.

Door ontwatering is de mineralisatie van veengronden sterk toegenomen en daarmee ook de N_2O -emissie (Mosier et al., 1998). Belangrijke processen die ten grondslag liggen aan de vorming van lachgas in de bodem zijn nitrificatie en denitrificatie. Deze processen verlopen sneller naarmate er een overvloed aanwezig is van organische stof en water. Deze omstandigheden doen zich bij uitstek voor in veengebieden waar een hoog ontwateringspeil wordt gehanteerd. Bovendien is er in dit gebied extra aanvoer van stikstof aanwezig afkomstig uit de veehouderij. Terugbrengen van de N_2O -emissies van de veenweidegebieden is een belangrijke optie om de doelen te kunnen halen in het terugdringen van de totale broeikasgas-emissies. Maar het optreden van lachgasemissie is erg onvoorspelbaar. Eén van de redenen waarom de N_2O -emissies zo onvoorspelbaar zijn is dat er verschillen microbiologische processen aan ten grondslag liggen die zich voordoen op de bodem-aggregaten. Mineralisatie van het veen veroorzaakt maaiveldafval. Daling van het maaiveld leidt in het veenweidegebied tot toenemende problemen aan de infrastructuur en het waterbeheer. In het veenweidegebied wordt het grondwaterpeil beïnvloed door het beheer van oppervlaktewater en wordt gebruikt om de mineralisatie van het veen te beperken. Indirect wordt hiermee dan ook de omvang van de lachgasemissie beïnvloed. Naast het waterbeheer is de bedrijfsvoering van het landbouwbedrijf van invloed op de emissie van lachgas. Het beheer van de percelen, en vooral de bemesting en beweiding, is van invloed op de omvang van de emissie van lachgas. Op melkvee-proefbedrijf Zegveld wordt een dagelijks beheer gevoerd dat overeenkomt met de gangbare praktijk in het veenweidegebied. Hierbij wordt gemaaid, beweid en bemest met rundermest en kunstmest. De tijdstippen van bemesten wordt sterk beïnvloed door wettelijke regelingen (uitrijverbod tussen 15 september en 1 februari), terwijl de beweiding sterk afhankelijk is van het weer (voldoende grasaanbod en draagkracht van de grond).

De laatste jaren is er grote vooruitgang geboekt in de ontwikkeling van modellen die de emissie van lachgas uit landbouwgronden kunnen voorspellen. Het scala aan modellen dat ontwikkeld is varieert van relatief eenvoudige zogenaamde 'Decision Support Systems' (DSS) tot complexe procesmodellen die gehele N- en C-cycli beschrijven. Alle modellen zijn gekalibreerd en gevalideerd op basis van veldmetingen. In de praktijk worden reeksen van meetgegevens vaak opgesplitst in een deel dat wordt gebruikt voor de kalibratie van het model en een deel dat wordt gebruikt voor de validatie. De reden dat geen gebruik gemaakt wordt van meetgegevens is dat er geen (voldoende) langetermijn experimenten beschikbaar zijn die gebruikt kunnen worden. Proeven die langer doorlopen dan één jaar zijn zeldzaam, de langst beschreven doorlopende proef is van Clayton et al., (1997) en doorloopt 98 - 112 metingen in twee achtereenvolgende jaren. In dit rapport worden de meetgegevens besproken die verzameld zijn na een meetcampagne van vijf achtereenvolgende jaren.

Op het melkvee-proefbedrijf Zegveld zijn vakken aangelegd waarbinnen percelen liggen die omsloten worden door sloten met een hoog (20 cm -mv.) of een laag slootpeil (60 cm -mv.). Op een aantal percelen is bovendien drainage aangelegd die fluctuaties in het grondwaterpeil beperken (Pleijter et al., 2010).

Tussen oktober 2005 en november 2009 zijn op het melkveeproefbedrijf Zegveld in gesloten fluxkamers ruim 6800 fluxmetingen uitgevoerd, verdeeld over 90 dagen. De metingen sluiten aan bij de dagelijkse (boeren)praktijk. In 2008 zijn bovendien veldjes aangelegd die niet met stikstof zijn bemest. De metingen op deze veldjes dienen om de achtergrond-emissie van de veengrond te meten. De metingen hebben plaatsgevonden op een perceel met een laag slootpeil en een perceel met een hoog slootpeil. Verder is rekening gehouden met de afstand tot de sloot, drainage buizen en de drainage intensiteit. Vanaf 2008 zijn nog een droog en nat perceel bij de metingen betrokken en is op totaal vier percelen de lachgasemissie gemonitord. De intensiteit van meten varieert van dagelijks tot maandelijks en is afhankelijk van het beheer op de percelen, maar in ieder geval zijn er maandelijks metingen uitgevoerd op 98 locaties. Verder zijn er gericht metingen uitgevoerd op momenten waarop een hoge emissie van lachgas werd verwacht ('peak hunting'). Het intensief en lang meten van de lachgasfluxen is bedoeld om alle fluxen op de percelen te pakken en om inzicht te krijgen in de jaarlijkse variatie in gemiddelde lachgasemissies.

Uit deze studie blijkt dat de gemiddelde jaarlijkse lachgasemissies van beweidde veenweidepercelen 29,5 kg N-N₂O/ha/jr voor het droge perceel bedraagt en 11,6 kg N-N₂O/ha/jr voor het natte perceel. Er is een sterke positieve relatie tussen grondwaterstand en lachgasemissie en vooral onder droge omstandigheden leidt de officiële methode voor berekening van lachgasemissies tot een onderschatting van de gemeten emissies. Op onbeweidde percelen is de lachgasemissie veel lager (10-20% van de emissie bij beweiding). Ook deze zogenaamde achtergrondemissie is afhankelijk van de ontwatering (grondwaterstand) en dient meegenomen te worden in de officiële methoden, die nu uitgaan van een vaste achtergrondemissie. De ruimtelijke en temporele variabiliteit was aanzienlijk en ongeveer 20% van de jaarlijkse emissie werd door één meetmoment veroorzaakt. Eenzelfde variatie werd gevonden voor de ruimtelijke spreiding, maar hierbij geldt dat die zich uitmijdt in de tijd (m.a.w. er is geen vast ruimtelijke patroon in emissies). Variatie tussen jaren was ook aanzienlijk, tussen de jaren konden cumulatieve emissies met een factor 4,5 verschillen. Ongeveer 75% van de variatie kon verklaard worden door weer, ontwatering en bedrijfsvoering, maar circa 25% van de variatie bleef onverklaard. Hier lijken spontane combinaties van warm vochtig weer en beweiding een rol te spelen. Bij vernatting van het veenweidegebied neemt de jaarlijkse emissie af, maar de variabiliteit (zowel temporeel als ruimtelijk) neemt toe, waardoor de vraag naar accurate inschattingmethoden urgenter wordt.

Met deze studie is een indrukwekkend gegevensbestand opgebouwd van lachgasflux-metingen bestaande uit 6880 metingen verspreid op 90 dagen en vier verschillende percelen. Deze database is vrij toegankelijk via het internet op: www.climateexchange.nl/projects/bsikme1/index.htm Hoewel de fluxmetingen niet toereikend zijn om de jaarlijkse verschillen in emissie in beeld te brengen, kunnen de resultaten en de gegevens van dit onderzoek gebruikt worden bij de verdere ontwikkeling van modellen die de emissie van lachgas berekenen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Volgens het Kyoto-verdrag is Nederland verplicht om verslag te doen van de uitstoot van broeikasgassen aan het United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). De rapportage gebeurt uitsluitend op basis van standaard emissiefactoren die door het IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) zijn opgesteld. Deze emissiefactoren houden geen rekening met regionale verschillen, terwijl deze wel degelijk bestaan (Van Beek et al., 2010). Het IPCC heeft in 2004 een handleiding opgesteld (Good Practice Guidance, GPG) waarin het toestaat dat landen de emissiefactoren aanpassen op hun specifieke vormen van landgebruik, om de rapportage van de uitstoot van broeikasgassen zo realistisch mogelijk te maken. Hiervoor dient er onder andere inzicht te komen in de variabiliteit van de fluxen en de amplitude waarin de fluxen voorkomen. Monitoring van de lachgasfluxen over een lange periode kan meer inzicht geven in de variabiliteit van de lachgasemissie.

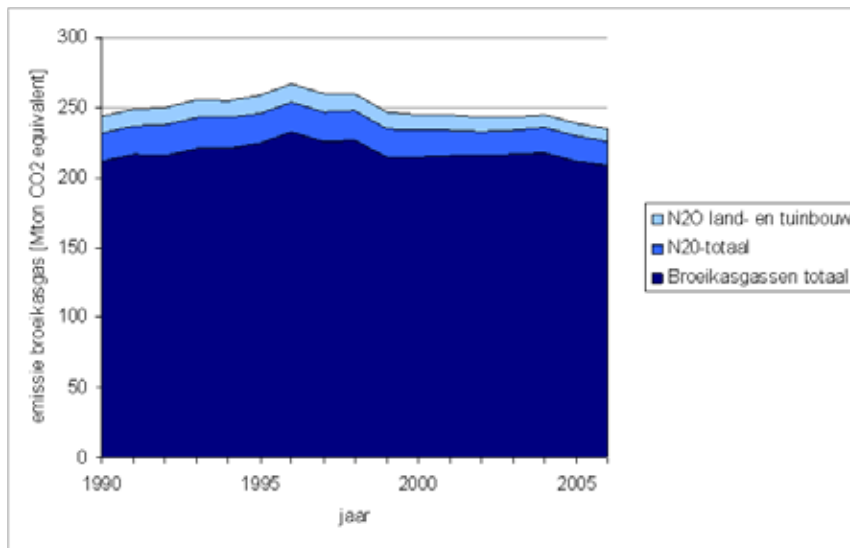
1.2 Lachgas als broeikasgas

Het 'global warming potential' (afgekort als GWP) is een maat waarin een broeikasgas kan bijdragen aan de opwarming van de aarde, vergeleken met dat van koolstofdioxide (CO_2). Lachgas (N_2O) is een ca. 310 keer zo sterk broeikasgas als CO_2 . Daarnaast draagt lachgas bij aan de afbraak van ozon in de stratosfeer (Wuebbles, 2009). De grootste emissie van lachgas vindt plaats uit landbouwgronden, vooral na bemesting met kunstmest en drijfmest (Mosier et al., 1989). De hoeveelheid lachgas die uit de bodem emitteert is afhankelijk van de ontwatering, beschikbaarheid van nitraat en organische stof (Tiedje et al., 1984).

De emissie van lachgas is sinds 1990 afgenomen (figuur 1) omdat er minder drijfmest werd uitgereden en er minder kunstmest werd gebruikt. Daarnaast nam ook de N_2O -emissie van de industrie af. In Nederland wordt ongeveer 80% van de nationale emissie van lachgas veroorzaakt door alle activiteiten in de landbouw (figuur 2) en dat komt neer op 4 á 5% van de totale broeikasemissie in Nederland (Emissieregistratie, 2008). De emissie van gronden die door de landbouw worden gebruikt draagt ongeveer 3% bij aan de GWP (persoonlijke communicatie Velthof, 2007). Van alle landbouwsystemen wordt de (melk)veeteelt op veengronden gezien als de grootste bron van N_2O -emissies per oppervlaktemaat. Voor deze gronden wordt een onderscheid gemaakt in een constante emissie veroorzaakt door de ontwatering van veen en een variabele emissie, afhankelijk van de aard en hoeveelheid bemesting (De Klein et al., 2006). De IPCC (International Panel on Climate Change) hanteert voor veengronden een standaardemissie van 8 kg $\text{N-N}_2\text{O}$ ha/jr. Nederland rapporteert haar lachgasemissie met een standaard emissie factor van 4,7 kg $\text{N-N}_2\text{O}$ /ha/jr. Daarnaast houden beide methoden rekening met extra emissie als gevolg van bemesting met kunstmest of drijfmest en met beweiding. Geen van deze methoden houdt echter rekening met verschillende bodemfactoren, zoals bijvoorbeeld het grondwaterniveau, die van invloed zijn op de emissie van lachgas (Van Beek et al., 2009).

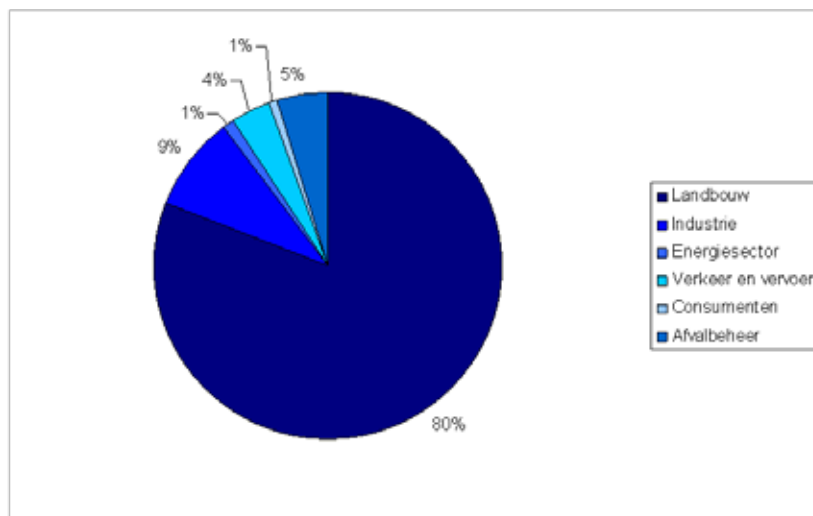
De jaarlijkse emissie van lachgas op een gemiddeld melkveebedrijf in Nederland bedraagt volgens Schils et al. (2006) ca. 30 kg $\text{N-N}_2\text{O}$ /ha/jaar. Door ontwatering en gebruikmaken van veengronden als landbouwgrond is de mineralisatie van deze veengronden sterk toegenomen. Daardoor is ook de N_2O -emissie van deze gronden sterk toegenomen (Mosier et al., 1998). Uit metingen in het Nederlandse veenweidegebied blijkt dat op niet-bemeste veengronden door emissie van lachgas (N_2O) 0,5 – 12,9 kg $\text{N-N}_2\text{O}$ /ha/jr in de atmosfeer terecht

komt en op bemeste veengronden 7,3 - 42 kg N-N₂O/ha/jr (Velthof et al., 1996). Metingen aan de emissie van lachgas laten zien dat er grote pieken voorkomen in ruimte en tijd (Jacobs et al., 2003) (Velthof et al., 1996).



Figuur 1

Emissie van broeikasgassen sinds 1990 tot 2006 en het aandeel van lachgas in Mton CO₂equivalenten. Bron: Emissieregistratie.



Figuur 2

Bijdrage in de lachgas-emissie per doelgroep in 2008; landbouw draag voor 80% bij aan de emissie van lachgas. Bron: Emissieregistratie.

Eén van de redenen waarom de N₂O-emissies zo onvoorspelbaar zijn, is dat er verschillende microbiologische processen aan ten grondslag liggen, die zich voordoen op de bodem-aggregaten. De meeste lachgas (N₂O) ontstaat als een bij- of eindproduct van nitrificatie en denitrificatie in de bodem. In het algemeen wordt denitrificatie, de reductie van nitraat (NO₃) in lachgas en uiteindelijk stikstof (N₂), als het belangrijkste proces beschouwd waarbij emissie van lachgas optreedt (Wrage et al., 2001). Dit proces vindt vooral plaats onder

vochtige omstandigheden en als er ruime hoeveelheden organische stof beschikbaar zijn (Tiedje et al., 1984). Deze omstandigheden komen uitgesproken voor in het Hollands -Utrechts veenweidegebied en het zijn vooral deze gronden die een grote bijdrage leveren aan de nationale lachgasemissie (Velthof en Oenema, 1995; Kuikman et al., 2000). In het veenweidegebied is de melkveehouderij een dominante landgebruiker. De hierbij aangewende hoeveelheden nitraat in mest vormen een derde factor die van invloed is op de emissie van lachgas.

De factoren, vochtgehalte/aeratie, organische stof en nitraat, bepalen in belangrijke mate de omvang van de lachgasemissie. Echter zodra één van deze factoren afwezig is, neemt de productie van lachgas sterk af. Naast deze drie drijvende krachten zijn nog een aantal andere factoren van invloed op de grootte van de lachgasemissie, zoals bijvoorbeeld de pH, temperatuur en de dichtheid van de bodem.

1.3 Vorming van lachgas

Lachgas wordt in de stikstofkringloop bij nitrificatie en denitrificatie gevormd. Bij nitrificatie wordt ammoniak omgezet in nitraat: $\text{NH}_3 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$. Dit proces verloopt in twee stappen waarbij tijdens de eerste stap lachgas ontstaat: $2 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$. Als voldoende zuurstof aanwezig is wordt het lachgas verder omgezet in nitraat: $2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^-$. Bij denitrificatie wordt nitraat in enkele stappen omgezet in stikstof, waarbij als tussenproduct onder andere lachgas ontstaat: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$. De hoeveelheid lachgas die vrijkomt is afhankelijk van de snelheid van het proces, de verhouding tussen de eindproducten (lachgas en nitraat) en de diffusie en opname van stikstofgassen voordat zij in de atmosfeer worden opgenomen. De hoeveelheid lachgas die bij denitrificatie vrijkomt is afhankelijk van dezelfde factoren. De belangrijkste factoren die van invloed zijn op het proces zijn het klimaat (in directe zin het weer), bodemgesteldheid en beheer. Voorwaarde voor de vorming van lachgas is de beschikbaarheid van minerale stikstof. Bemesting is daarom een belangrijke stuurfactor voor (de-)nitrificatie. Het weer (temperatuur, vochtigheid) bepalen of en hoe snel de denitrificatie verloopt. In tabel 1 staan de factoren weergegeven die van invloed zijn op de emissie van lachgas.

Tabel 1

Overzicht van factoren die van invloed zijn op de emissie van lachgas (N_2O) (Kuikman et al., 2000)

Factoren	Gebeurtenissen	Proces
Beheer	Beweiding*	Vertrapping. Lage N-opname van het gewas. Vertrapping komt vooral voor bij beweiden onder natte omstandigheden.
		Urineplekken met zeer hoge N-gehalte. N is niet volledig opneembaar voor het gewas.
		Extra kunstmestgift nodig door N-verliezen door onvolledig opname van het gewas.
	Scheuren van grasland	Herinzaai. Omzetting van organisch N naar mineraal N. Nmin is niet volledig opneembaar door volgend gewas.
	Bemesting*	Wisselteelt. Idem, met gewasloze winter, waardoor extra verlies N optreedt. Betere benutting N bij aanwenden dierlijke mest en kunstmest met alleen ammonium.
	Beregening	Beregening leidt tot een hoge vochtgehalte van de grond en daardoor tot goede omstandigheden voor de emissie van lachgas.
Weer	Vocht/neerslag*	Bij hoge vochtigheid van de bodem (neerslag) is de emissie van lachgas hoger.
	Temperatuur*	Bij een hoge temperatuur is de emissie van lachgas hoger.
Bodem	Ontwatering*	In vochtige gronden is de emissie van lachgas in het algemeen hoger dan in droge en natte gronden.
	Organische stof*	Omzetting van organisch N naar mineraal N. Mineraal N kan niet volledig door het gewas worden opgenomen.

De gebeurtenissen met een * aangegeven zijn van toepassing op de proeflocatie. Het toepassen van onderwaterdrainage heeft net als beregenen tot gevolg dat het bodemprofiel vochtiger wordt en als gevolg daarvan de emissie van lachgas toeneemt.

Beweiding

De hoeveelheid stikstof die tijdens beweiding als urine wordt uitgescheiden is een belangrijke sturende factor voor de emissie van lachgas uit grasland. In urineplekken komen hoge stikstofconcentraties voor, en deze worden maar ten dele benut door het gras. De stikstof gaat echter grotendeels verloren via denitrificatie, emissie van lachgas en uitspoeling van nitraat. Betreding en vertrapping leiden tot een slechtere stikstofopname van het gewas en geeft daarom een groter risico op vorming en emissie van lachgas (Van der Pol-Dasselaar et al., 2001).

Bemesting

De graslandpercelen worden jaarlijks bemest met nitraathoudende kunstmest en runderdrijfmest. Er zijn aanwijzingen dat de uitstoot van lachgas hoger is na bemesting met nitraathoudende kunstmeststoffen, dan na bemesting met dierlijke mest of met kunstmest met alleen ammonium. Vooral onder natte omstandigheden kan de uitstoot van lachgas worden beperkt door minder nitraathoudende (kunst)meststoffen te gebruiken (Velthof, 2000).

Weer

De weersomstandigheden hebben een directe invloed op de vochtigheid en temperatuur van de bodem. Het gaat bij weersomstandigheden dus niet om het weer zelf, maar op de omstandigheden die het weer in de bodem veroorzaakt.

Ontwatering

Veengebieden zijn onderhevig aan oxidatie en krimp en dit leidt tot daling van het maaiveld. Het is een natuurlijk proces, maar wordt versneld door ontwatering en landbouwactiviteiten. Het verschijnsel treedt voornamelijk op in de zomermaanden als de bodemtemperatuur hoog is en het vochtgehalte (grondwaterstanden) laag is. Bij de vertering van veen ontstaan broeikasgassen zoals CO₂, N₂O en komt CH₄ vrij. Bij de afbraak en mineralisatie van veen komen bovendien nutriënten vrij die voor een deel uitspoelen (Velthof, 2000).

Bodem

De gemiddelde emissie van lachgas uit veengronden is hoger dan uit kleigronden en veel hoger dan uit zandgronden. In veengronden met een diepe ontwatering vindt de oorzaak van de lachgasemissie zijn oorsprong in de hoge mineralisatie van stikstof. Vernatten van veengronden heeft een lagere mineralisatie van de gronden tot gevolg, maar leidt tot landbouwkundig minder gewenste situaties. Bovendien neemt bij een vochtiger bodemprofiel de vorming van lachgas toe.

1.4 Doelstelling

De belangrijkste doelstelling van deze studie is meer inzicht te krijgen in de ruimtelijke en temporele variabiliteit van de lachgasemissie op begraasde graslanden op veengrond. Daarnaast wordt als doel gesteld meer inzicht te krijgen in de factoren die van invloed zijn op de emissie van lachgas. Hierbij wordt de focus gelegd op de variatie in emissie die wordt veroorzaakt door verschil in grondwaterstand van de bodem.

1.4.1 Probleemstelling

De laatste jaren is er grote vooruitgang geboekt in de ontwikkeling van modellen die de emissie van lachgas uit landbouwgronden kunnen voorspellen. Het scala aan modellen dat is ontwikkeld varieert van relatief eenvoudige zogenaamde 'Decision Support Systems' (DSS) tot complexe procesmodellen die de gehele N- en C- cycli beschrijven. Voorbeelden van een DSS zijn: MITERRA (Velthof et al., 2009). INITIATOR (Nol et al., 2009)

en COBRA-NA (Kort et al., 2008). Voorbeelden van modellen die gebaseerd zijn op basis van procesbenadering zijn: DNDC (Smith et al., 2010), DAYCENT (Del Grosso et al., 2006), SOILN, DAISY, SUNDIAL en SWAP-ANIMO (Wu en McGechan, 1998). Deze genoemde modellen zijn gekalibreerd en gevalideerd op basis van veldmetingen waarbij bij validatie de veldmetingen gebruikt zijn om de nauwkeurigheid van de door modellen voorspelde emissie te bepalen. Bij kalibratie worden de meetgegevens uit het veld gebruikt om invoerparameters te optimaliseren. De gegevens die voor de kalibratie van het model worden gebruikt mogen niet worden gebruikt om het model te valideren, maar kunnen wel van dezelfde proef of locatie afkomstig zijn. In de praktijk worden reeksen van meetgegevens vaak opgesplitst in een deel dat wordt gebruikt voor de kalibratie van het model en een deel dat wordt gebruikt voor de validatie. In Beheydt et al. (2007) wordt het model DNDC gevalideerd met gebruik making van 22 langetermijn experimenten. In feite gaat het hier om metingen verspreid over twee jaar met maximaal 43 meetmomenten. In Wu en McGechan (1998) worden vier procesmodellen met elkaar vergeleken, maar er worden geen uitspraken gedaan op basis van meetgegevens. De reden dat geen gebruik gemaakt van meetgegevens is dat er geen langetermijn experimenten beschikbaar waren die gebruikt konden worden. Proeven die langer doorlopen dan één jaar zijn zeldzaam, de langst beschreven doorlopende proef is van Clayton et al. (1997) en doorloopt 98 - 112 metingen in twee achtereenvolgende jaren. De meetgegevens van dit experiment zijn door ten minste elf proeven gebruikt om ontwikkelde modellen te kalibreren en valideren (Conen et al., 2000; Del Grosso et al., 2000; Del Grosso et al., 2005; Bechtold et al., 2007; Grant en Pattey, 2008; Jarecki et al., 2008; Abdalla et al., 2009; Lilly et al., 2009; Abdalla et al., 2010a; Abdalla et al., 2010b; Cardenas et al., 2010). In dit rapport worden de meetgegevens besproken die verzameld zijn na een meetcampagne van vijf achtereenvolgende jaren. Met deze dataset hopen we een leemte op te vullen en hiermee veel onderzoekers van dienst te kunnen zijn bij de ontwikkeling van modellen en meer inzicht te kunnen verkrijgen in de emissie van lachgas uit landbouwgronden.

1.4.2 Hypothese

In het veenweidegebied wordt het grondwaterniveau sterk beïnvloed door het oppervlaktewaterbeheer en hiermee kan ook de omvang van de emissie worden beïnvloed. In het algemeen neemt de emissie van lachgas op veenweidegronden toe wanneer de grondwaterstanden zakken (Velthof, 1995 en Jacobs et al., 2003). Dit zou kunnen impliceren dat NO_3 beperkend is voor de grootte van de N_2O -productie, wanneer de NO_3 -productie (nitrificatie) toeneemt onder drogere omstandigheden. Het waterbeheer kan daarmee een middel zijn waarmee de emissie van lachgas uit de bodem te beperken.

1.4.3 Aanpak

Om de doelstelling te kunnen bereiken zijn lachgasmetingen in fluxkamers uitgevoerd op percelen met verschillend waterbeheer. De metingen zijn gedurende vijf achtereenvolgende jaren maandelijks uitgevoerd. Daarnaast zijn metingen uitgevoerd om meer inzicht te verkrijgen in piekemissies die plaatsvinden na bemesting en beweiding en na bijzondere weersgebeurtenissen. De emissie van lachgas is gemeten in gesloten, mobiele, fluxkamers met een diameter van 30 cm zodat snel kon worden gereageerd op de omstandigheden in het veld. De relatief kleine fluxkamers zijn makkelijk te plaatsen en te verwijderen, zodat het dagelijks beheer op de percelen geen hinder ondervindt van de proefopstelling. Bovendien kunnen nu in korte tijd relatief veel metingen worden gedaan op verschillende locaties. Om zoveel mogelijk metingen op verschillende locaties te kunnen uitvoeren is gekozen om de metingen geclusterd rondom de drains te laten plaatsvinden. Bij een aselekt gekozen locatie zal de afstand tussen de fluxkamers zo groot worden dat dat het aantal metingen op verschillende locaties drastisch zou verminderen. Bij de geclusterde aanpak kunnen per dag tot ca. 100 verschillende fluxmetingen op één perceel worden uitgevoerd. De metingen zijn op verschillende percelen uitgevoerd (droog en nat) en vanaf 2008 zijn er herhalingen van het droge en natte

perceel in gebracht. In 2008 zijn bovendien onbemeste velden geïntroduceerd om meet-inzicht te krijgen in het effect van bemesting en beweiding. Een uitgebreide beschrijving van de proefopzet is beschreven in hoofdstuk 3: Materiaal en methode.

2 Beschrijving van de proeflocatie

2.1 Ligging

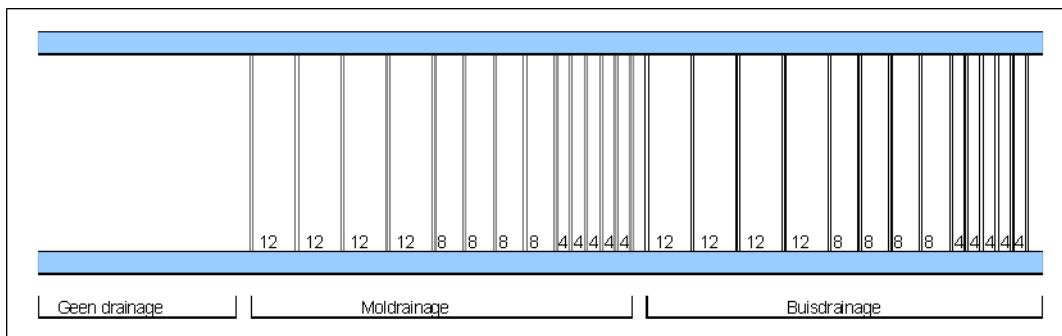
De proef is gehouden op het melkveeproefbedrijf Zegveld, verder aangeduid als Zegveld. Zegveld ligt in het westen van de provincie Utrecht, op de grens met de provincie Zuid-Holland, in het centrale deel van het Hollands veenweidegebied (figuur 3). De provinciegrens wordt gevormd door het riviertje de Oude Meije, dat aan de noordkant van het bedrijf loopt.



Figuur 3

Ligging van Zegveld binnen Nederland. Met paars zijn de veengronden aangegeven.

De lachgasmetingen zijn uitgevoerd op de percelen waar onderwaterdrainage is toegepast. De proef met onderwaterdrainage op Zegveld wordt beschreven door Pleijter et al. (2008) en Hoving et al. (2009). In figuur 3 is de ligging van de percelen weergegeven. De oppervlakten bedragen voor de percelen 2 en 11 1,1 ha en voor de percelen 3 en 13 1,7 ha. De drainage is toegepast met verschillende afstanden (4, 8 en 12 m) tussen de drains. Als referentie is een deel van de percelen niet gedraineerd. In figuur 4 is de inrichting van de percelen schematisch weergegeven. De monitoring van de lachgasemissie vinden plaats op de percelen 2 en 13 (2005 - 2009) en 3 en 11 (2008 en 2009) op de proefvelden met buisdrainage en zonder drains.



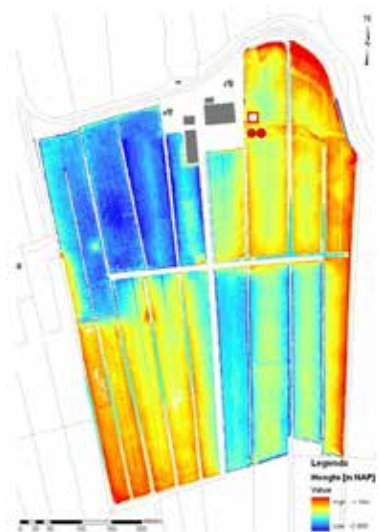
Figuur 4

Schematische inrichting van de proefpercelen op de locatie Zegveld.

2.2 Beheer van de proefpercelen

2.2.1 Waterbeheer

In Zegveld worden sinds de jaren zestig van de vorige eeuw twee verschillende slootpeilen gehandhaafd. De huiskavel van de proefboerderij is ingedeeld in vier blokken, waar in twee blokken een drooglegging van 65 cm wordt nagestreefd en in twee blokken een drooglegging van 20 cm. De drooglegging van 20 cm geldt bij een slootpeil die gelijk is aan het polderpeil (Beuving en Van den Akker, 1996) en wordt in dit rapport aangeduid als 'nat' (perceel 11 en 13), terwijl de percelen met een drooglegging van 65 cm worden aangeduid als 'droog' (perceel 2 en 3).



Figuur 5

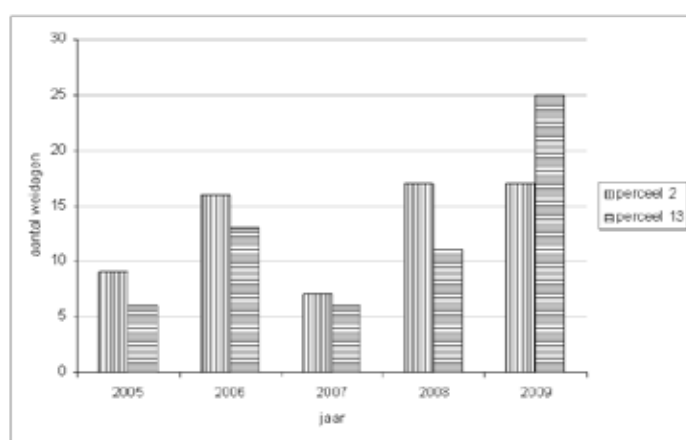
Hoogtekaart [m NAP] van de percelen op Zegveld. Bron: Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN).

In figuur 5 is de hoogteligging van de percelen rond de proefboerderij weergegeven, die met laser-altimetrie (bron: Hoogheemraadschap Rijnland) in het voorjaar van 2008 is bepaald. Op deze kaart is de ligging van de verschillende peilvakken duidelijk zichtbaar. De vakken met lage slootwaterstanden hebben een lagere ligging dan de vakken met hoge slootstanden. Verder is goed zichtbaar dat de percelen waarop de proef is gehouden

langs de slootkanten een hogere ligging hebben dan in het midden van de percelen. Deze omstandigheden zijn van invloed op de hydrologie van de percelen, waarbij het midden van het perceel slechter kan ontwateren dan de randen van het perceel. In de wintermaanden komt dit tot uiting in plasvorming dat, met uitzondering van perceel 2, op alle percelen voorkomt. De percelen 2 en 11 hebben een breedte van gemiddeld 35 meter en zijn smaller dan de percelen 11 en 13 die gemiddeld 45 meter breed zijn.

2.2.2 Bemesting en beweiding

Bij de monitoring wordt aangesloten bij de gangbare landbouwpraktijk op de proefboerderij. De percelen worden jaarlijks beweide, gemaaid en bemest met runderdrijfmest en kunstmest (Kalkomanonsalpeter, KAS 27% N). Het beheer op de grasland-percelen wordt hoofdzakelijk bepaald door de hydrologische omstandigheden van de percelen. De belangrijkste beperkende factor van de gangbare landbouwpraktijk is namelijk een slechte draagkracht die veroorzaakt wordt door de hoge grondwaterstand. Gewoonlijk vindt op de 'droge' percelen in februari de eerste mestgift met runderdrijfmest plaats, op de natte percelen gebeurt dit vaak medio maart. Vervolgens vindt in de tweede helft van maart een kunstmest gift en wordt de eerste grassnede eind april, begin mei binnen gehaald. De eerste grassnede volgt op de natte percelen enkele weken later. In de zomermaanden vindt afwisselend beweiden en maaien plaats, waarna de percelen voorzien worden van runderdrijfmest en kunstmest. Van de droge percelen worden ca. vijf sneden per jaar gehaald, van de natte percelen drie á vier sneden. Tijdens de natte zomermaanden van 2007 stond er water op een deel van perceel 13, waardoor deze pas in het najaar weer is gemaaid. Perceel 2 wordt incidenteel, als het weer het toelaat, tot in oktober (extensief) beweide. Het aantal dagen waarop de percelen beweide worden varieert sterk (figuur 6) en wordt vaak beperkt door natte omstandigheden aan het begin en einde van het seizoen.

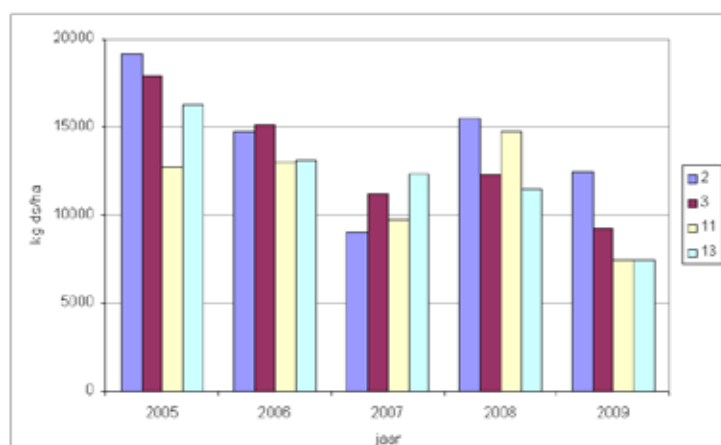


Figuur 6

Aantal weidedagen per jaar (ca. 75 melkkoeien) op de percelen 2 en 13 in 2005 – 2009.

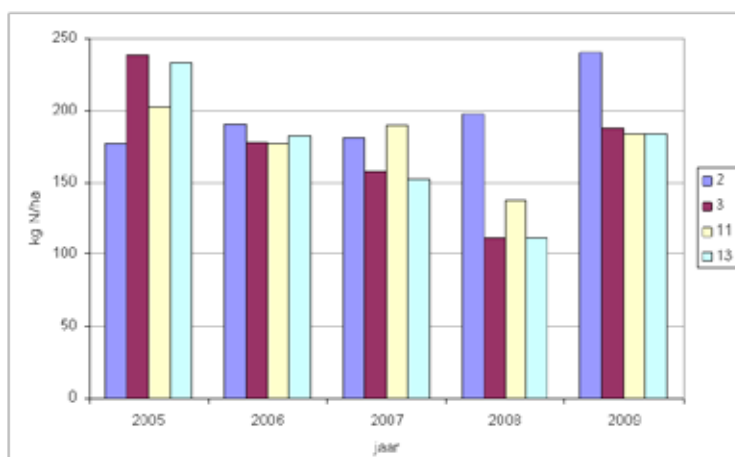
Gemiddeld laat een koe ca. 0,48 kg N/koe/dag achter in de vorm van uitwerpselen (Van Beek et al., 2007). Om de totale N-gift door beweiding uit te rekenen is uitgegaan van een gemiddelde opname van 16,6 kg ds./koe/dag. In de praktijk varieert deze hoeveelheid per perceel tussen 15,7 (perceel 13) en 17,4 kg ds./koe/dag (perceel 2). Het N-gehalte van het gras wordt geschat op 0,031 kg N/kg ds. (Middelkoop et al., 2004). Met deze getallen kunnen de hoeveelheid stikstof die door beweiding en maaien worden afgevoerd per perceel worden geschat (bijlage 2, tabel 2). De gebruikte drogestof-opbrengsten zijn standaardgetallen volgens het managementprogramma dat op het proefbedrijf Zegveld wordt gebruikt. In werkelijkheid zullen de opbrengsten hier en daar behoorlijk anders zijn (persoonlijke mededeling K van Houwelingen). De drogestof -

opbrengsten van de percelen variëren van gemiddeld (2005 - 2009) 14 ton ds./ha op de percelen 11 en 13 tot 19 ton ds./ha op perceel 3. In 2009 zijn de drogestof-opbrengsten op de percelen 2 en 3 belangrijk hoger dan in de voorgaande jaren. Ondanks de hogere N-gift op perceel 11 ten opzichte van perceel 3 en 13 zijn de opbrengsten op dit perceel het laagste van de vier percelen. In figuur 7 zijn de jaarlijkse drogestof-opbrengsten per perceel weergegeven. Er lijkt een lichte dalende trend in de drogestof-opbrengsten zichtbaar te zijn. Voornamelijk in het jaar 2007 zijn de drogestof-opbrengsten op alle percelen lager dan in andere jaren. Gemiddeld zijn de drogestof-opbrengsten van de droge percelen (2 en 3) hoger dan van de natte percelen (11 en 13), maar dat is niet altijd het geval. In 2007 hebben de natte percelen juist hogere drogestof-opbrengsten dan de droge percelen en in 2008 zijn de drogestof-opbrengsten van perceel 11 duidelijk hoger dan van perceel 3. Een neergaande trend lijkt ook zichtbaar in de jaarlijkse N-giften op de percelen (figuur 8). Dit geldt echter niet voor perceel 2, waar de N-giften rond 175 kg N/jr blijven schommelen. Op de percelen 3 en 13 neemt de N-gift echter af van bijna 250 kg N/ha in 2005 naar ca. 110 kg N/ha in 2008. In 2008 is de N-gift op perceel 2 duidelijk hoger dan op de nadere percelen. Ook in andere jaren komen verschillen in de N-gift voor. In 2005 wordt op de percelen 3 en 13 meer dan 230 kg N/ha gegeven, en in 2007 krijgen juist perceel 2 en 11 duidelijk een grotere N-gift. In 2009 zijn de N-giften weer op het niveau van 2005. De berekende N-gift bestaat uit stikstof uit kunstmest (KAS 27%-N) en runderdrijfmest waarvan ieder jaar het N-gehalte wordt bepaald. In figuur 9 wordt de verhouding N uit kunstmest weergegeven ten opzichte van de totale N-gift. Er is van jaar tot jaar een flinke variatie in de verhouding tussen kunstmest en runderdrijfmest (tussen 44 en 79% van de totale N-gift) en bovendien zijn er verschillen tussen de percelen onderling. In het jaar 2007 wordt relatief veel runderdrijfmest uitgereden, terwijl in 2008 op de percelen 3, 11 en 13 bijna 80% van de N-gift afkomstig is uit kunstmest. Er is geen duidelijk onderscheid te maken tussen de droge en natte percelen, maar opvallend is wel dat de giften op perceel 2 vaak afwijken van de giften op de andere percelen (met uitzondering van 2006).



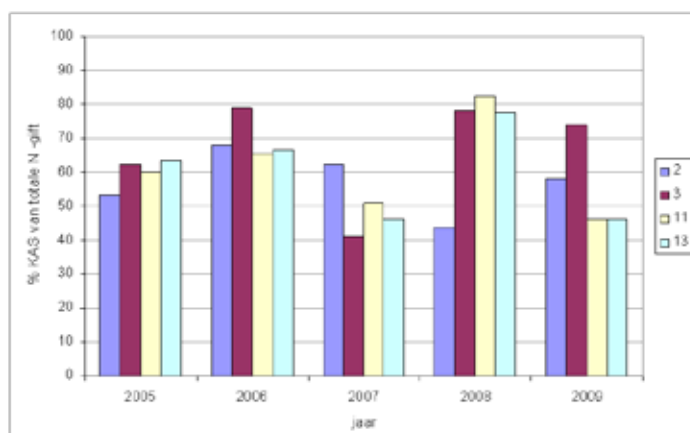
Figuur 7

Jaarlijkse droge stof opbrengsten (2005 - 2009) van kuilgras en beweiding op de percelen 2, 3, 11 en 13 op proefboerderij Zegveld.



Figuur 8

Totale hoeveelheid toegevoegde stikstof (kg/ha/jr) uit bemestingen met kunstmest en runderdrijfmest op vier proefpercelen in Zegveld in de periode 2005 – 2009.



Figuur 9

Percentage N uit kunstmest (KAS N-27%) ten opzichte van totale mestgift (kunstmest en runderdrijfmest) op de vier proefpercelen in Zegveld in de periode 2005 – 2009.

2.3 Bodemgesteldheid

De bodemgesteldheid van de proeflocatie Zegveld wordt globaal weergegeven op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000. In bijlage 1 staat een uitgebreide beschrijving van de bodem op de proeflocatie. De bodem bestaat hoofdzakelijk uit matig voedselrijke broekveengronden, met een kleiige moerige bovengrond. In de ondergrond komen veel houtresten in de vorm van boomstobben en takken (kienhout) voor. De bodemopbouw in Zegveld is beschreven in een profielkuil die op perceel 2 is gegraven. In tabel 2 staat de beschrijving van de bodemopbouw weergegeven. Het veenpakket (Formatie van Nieuwkoop) is ca. 6 meter dik; daaronder liggen Pleistocene zandafzettingen.

Tabel 2*Profielbeschrijving perceel 2 Zegveld.*

Horizont	Begin cm -mv.	Eind	Org. stof %	<2 µm %	Omschrijving
1 Ah	0	15	35	22	Donkerbruin grijs kleig veen, met enkele zandkorreltjes en roestvlekken
2Cw	15	24	35	22	Zwart, veraard, kleig veen
2Cu	24	57	55		Grotendeels veraard, zwart zeggeveen
2Cr1	27	80	65		Bruin, gereduceerd, mesotroof broekveen, veel houtresten
2Cr2	80	120	75		Roodbruin gereduceerd mesotroof broekveen

Op de proefpercelen wordt vanaf 2003 in grondwaterstandbuizen de grondwaterstand intensief gemonitord. In tabel 3 staan de gemiddelde drie hoogste en laagste grondwaterstand (respectievelijk de HG3 en LG3) op de gedraineerde velden in de periode 2004 - 2009 weergegeven. In deze tabel is te zien dat de gemiddeld laagste grondwaterstanden op de droge percelen (ca. 70 cm-mv.) duidelijk lager zijn dan op de natte percelen (ca. 50 cm -mv.). De gemiddeld hoogste grondwaterstand op de droge percelen bedraagt ca. 30 cm -mv. en 20 cm -mv. op de natte percelen. Bij langdurig nat weer kan er plasvorming optreden. Vooral op perceel 13 komen tijdens de wintermaanden langdurig plassen voor, maar ook na hevige zomerbuien kan plasvorming op de percelen plaatsvinden. De plasvorming wordt veroorzaakt door een gebrekkige oppervlakkige afvoer door de holle ligging van de percelen en door een hoge intrede-weerstand van de bovenste bodemlaag. In de zomermaanden en herfst kan plasvorming optreden boven een niet-verzadigde, of sterk verdrogende bodemlaag. De grondwaterstand bevindt zich dan vaak nog enkele decimeters beneden maaiveld.

Tabel 3

HG3 en LG3 op de proefvelden met vier meter drainage op praktijkbedrijf Zegveld in de periode 2006 - 2009. Perceel 11 wordt na 2007 niet meer gemeten.

perceel	2006		2007		2008		2009	
	HG3	LG3	HG3	LG3	HG3	LG3	HG3	LG3
2	36	73	6	71	25	44	24	66
3	26	71	0	51	1	45	11	67
11	25	44	6	31				
13	17	43	2	28	0	31	4	37

(Bron: Pleijter, M. en J.J.H. van den Akker, 2009).

2.4 Weersgesteldheid tijdens de meetperiode

De metingen zijn in de periode oktober tot oktober 2009 uitgevoerd. In tabel 4 is de gemiddelde maand-temperatuur in De Bilt (KNMI) tijdens deze periode weergegeven. Tijdens de monitoring beleefden we een bijzonder warme periode tussen mei 2006 en juni 2007. In deze periode waren de maanden juli (afw. +5,0 °C) en september 2006, januari en april 2007 (afw. +4,8 °C) de warmste maanden in hun soort sinds de instrumentele waarnemingen zijn begonnen in 1706. Alle jaargemiddelde temperaturen liggen ruim boven de 10 °C (normaal +9,8 °C (1970-2000)), de jaren 2006 en 2007 zijn met gemiddeld +11,2 °C de warmste jaren in driehonderd jaar.

Tabel 4*Gemiddelde maand temperatuur in De Bilt (KNMI) tijdens de monitoringsperiode oktober 2005 - oktober 2009*

Maand	Jaar					Norm
	2005	2006	2007	2008	2009	1971-2000
januari	5,3	1,5	7,1*	6,5	0,8	2,8
februari	2,4	2,9	6,0	5,1	3,3	3,0
maart	6,5	3,9	8,0	5,8	6,3	5,8
april	10,4	9,0	13,1*	8,9	12,2	8,3
mei	12,6	14,5	14,1	15,7*	13,9	12,7
juni	16,8	16,7	17,5	16,5	15,6	15,2
juli	17,7	22,3*	17,0	18,1	18,1	17,4
augustus	16,2	16,4	17,1	17,4	18,6	17,2
september	15,7	17,9*	13,8	13,6	15,0	14,2
oktober	13,3	13,6	10,3	10,1	10,7	10,3
november	6,9	9,2	6,9	6,9	9,5	6,2
december	4,0	6,5	3,8	2,4	2,2	4,0
Gemiddeld	10,7	11,2	11,2	10,6	10,5	9,8

Met een * weergegeven zijn record warme maanden (De Bilt sinds 1901).

In tabel 5 staat de totale maandelijkse hoeveelheid neerslag zoals deze is opgevangen op de proefboerderij in Zegveld. Tijdens de monitoringsperiode komen zowel extreem natte als extreem droge perioden voor. De natste maanden zijn augustus 2006 (record), en juni en juli 2007 met meer dan 200 mm neerslag. In april 2007 is het juist uitzonderlijk droog, tussen 22 maart en 6 mei (45 dagen) valt er hoegenaamd geen druppel water. In combinatie met de extreem hoge temperaturen zorgt dat voor een voor de tijd van het jaar extreem hoog neerslag tekort van >100 mm. Ook in 2006 is het zeer droog, eind juli loopt het neerslagtekort op tot ruim 200 mm. De extreem droge perioden worden abrupt onderbroken door extreem natte perioden. De hoge maandsommen worden voornamelijk veroorzaakt door heftige buien die in korte tijd veel neerslag (>50 mm) achterlaten. Zo valt er op 9 juni 2007 56 mm in een etmaal.

Tabel 5*Totale hoeveelheid neerslag op Zegveld (KNMI) tijdens de monitoringsperiode oktober 2005 - oktober 2009*

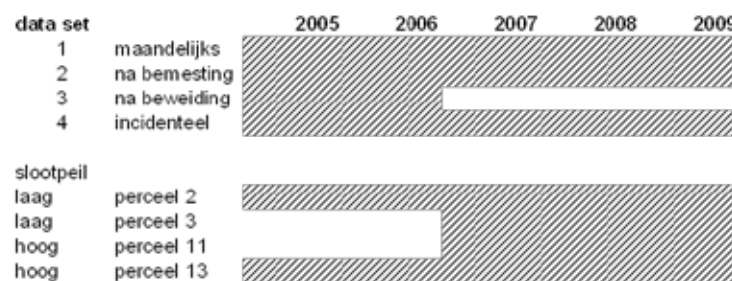
Maand	Jaar					Norm
	2005	2006	2007	2008	2009	1971-2000
januari	52	15 ^d	79	75	79	66
februari	66	47	70	29	49	45
maart	44	74	88	95	43	64
april	66	33	0 ^d	32	23	44
mei	44	96	120	32	54	56
juni	81	30	210 ⁿ	43	48	70
juli	157	28	211 ⁿ	144	79	68
augustus	95	209 ⁿ	36	105	54	63
september	51	13	96	53	41	72
oktober	43	114	23	112	76	80
november	89	102	53	82	118	85
december	64	72	68	44	85	78
Totaal	851	834	1053	845	711	790

ⁿ extreem nat ^d extreem droog

3 Materiaal en methode

3.1 Proefopzet en meetfrequentie

Het moment waarop de metingen zijn uitgevoerd is afhankelijk van het beheer op de percelen. De intensiteit van meten varieert van dagelijks tot wekelijks, en is afhankelijk van het meetschema dat van jaar tot jaar is vastgesteld. Er zijn gericht metingen uitgevoerd op momenten waarop een hoge emissie van lachgas werd verwacht ('peak hunting') en op regelmatige tijdstippen om een schatting te kunnen maken van de cumulatieve jaar fluxen. Er zijn metingen uitgevoerd op vaste locaties en op gemarkeerde urineplekken. Deze proefopzet levert vier datasets op die zich onderscheiden in tijdstip van de meting en de locatie (figuur 10).



Figuur 10

Proefopzet: metingen worden maandelijks uitgevoerd op de percelen 2 en 13 (vanaf 2008 ook de percelen 3 en 11) rond de 21e van de maand. Daarnaast vinden metingen plaats na een bepaalde beheersmaatregel (bemesting, beweiding) en vinden incidentele waarnemingen plaats na vorst of grote neerslaghoeveelheden.

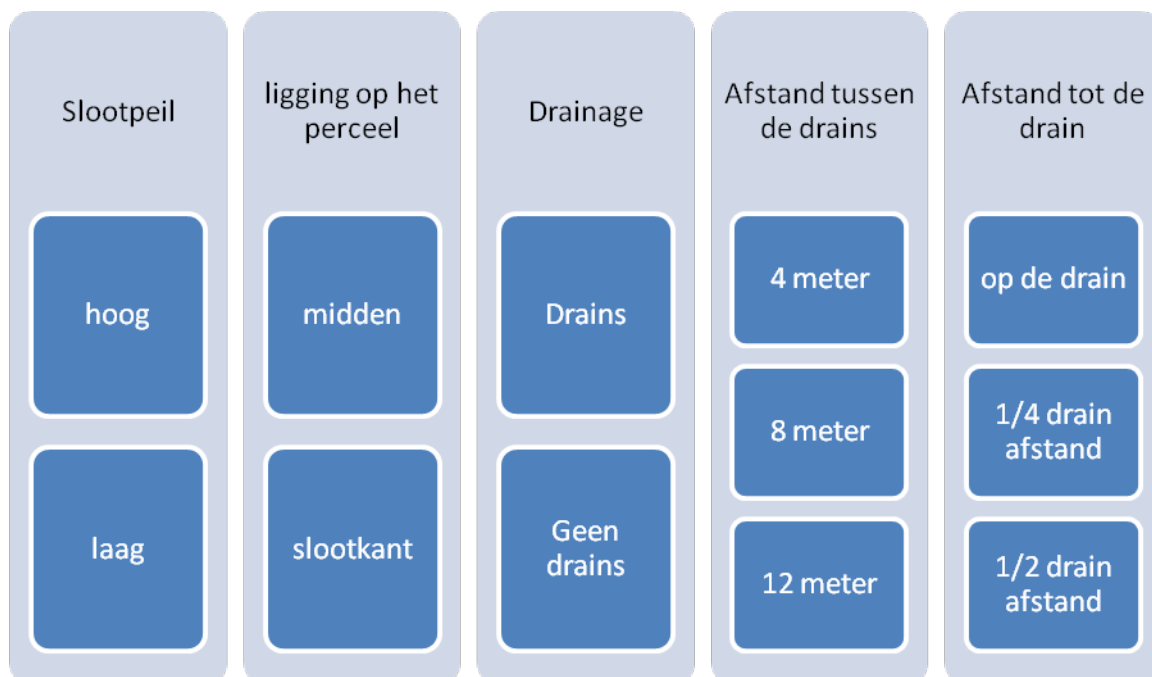
3.1.1 Meetfrequentie

Er is een meetschema opgesteld waarbij telkens wordt gemeten na bemesting of beweiding op de percelen 2 en 13. Geconstateerde pieken zijn niet gevolgd in de tijd. In 2007 en 2008 is na een bemesting op dag 1, 2, 3, 5, 7, 14 en 21 gemeten en mogelijk ook op de dag voor de bemesting. In 2008 en 2009 wordt op dag 1, 7, 14 en 21 na bemesting gemeten. De percelen worden verspreid in het jaar ook telkens een aantal dagen beweide. Tijdens het beweiden zijn in 2005 en 2006 urineplekken gemarkeerd. Per beweiding zijn op zes urineplekken en telkens op 2 m vanaf deze urineplekken gedurende een maand de emissie van lachgas gemonitord. In 2005 is op dag 1, 2, 3, 5, 7, 14 en 21 de lachgasflux op urineplekken gemeten, in 2008 op dag 1, 7, 14 en 21. In de praktijk blijkt echter dat het ontworpen meetinterval meestal niet wordt gehaald. Het blijkt logistiek moeilijk haalbaar om met de metingen in te springen op momenten wanneer de bedrijfsvoering van de proefboerderij daarom vraagt. Verder is het gebruik van de graslandpercelen zo intensief, dat binnen de ontworpen termijn een volgende beheersmaatregel wordt uitgevoerd. Alleen na de metingen in het najaar (oktober) kunnen de gemarkeerde urineplekken voor langere tijd (tot in het nieuwe seizoen) worden gemonitord. Verder zijn iedere maand rond de 21e lachgasmetingen uitgevoerd om een beeld te krijgen van het verloop van de lachgasemissie op jaarbasis. Vanaf 2007 worden de maandelijks metingen uitgebreid met de percelen 3 (hoog slootpeil) en 11 (laag slootpeil). Naast de maandelijks metingen en metingen na aanleiding van beheer zijn incidenteel metingen van de lachgasemissie gedaan na bijzondere (weers-) gebeurtenissen. Zo is na de storm van 25-26 november 2005, de weersomslag in maart 2006, de

weersomslag van augustus 2006 en na de vorstperiode van december 2008/januari 2009 een meting uitgevoerd.

3.1.2 Ruimtelijke opzet

De opzet van meten is er opgericht aan te sluiten bij verschillende beheersmaatregelen die van invloed zijn op de grondwaterstand. Deze beheersmaatregelen omvatten peilbeheer en de aanwezigheid van onderwaterdrainage. In detail kan worden ingezoomd naar de afstand tot de ontwateringmiddelen: drains en sloten. In figuur 11 zijn de verschillende behandelingen in een blokdiagram weergegeven.



Figuur 11

De lachgasmetingen vinden plaats op percelen met een laag slootpeil (perceel 2 en 3), op percelen met een hoog slootpeil (perceel 11 en 13), langs sloten en in het midden van de percelen en langs drains (met afstanden tussen de drains van 4, 8 en 12 meter), tussen de drains en op niet gedraineerde velden.

De percelen zijn ingedeeld in proefvelden die met een variërende afstand tussen de drains zijn gedraineerd. Eén veld per perceel is niet gedraineerd. Bij het bepalen van de meetlocatie is rekening gehouden met de afstand tot de drain en de afstand tot de sloot. Er wordt op de drain gemeten en tussen de drains, langs de sloot en in het midden van het perceel (bijlage 3). In 2005 - 2007 worden alleen metingen op perceel 2 en 13 uitgevoerd. De metingen worden in die jaren in duplo (linksom en rechtsom) 2 m van de sloot uitgevoerd op 0, 1/4- en 1/2-afstand vanaf de drain en dito in het midden van het perceel. In totaal (op de 4 m, 8 m, 12 m en blanco proefveld) levert dit 48 metingen per perceel op. In 2008 worden ook de percelen 3 en 11 bij de proef betrokken. Vanaf dat moment worden op de vier percelen metingen uitgevoerd op de drain en op halve drainafstand (rechtsom), herhaald op twee meter van de sloot en in het midden van het perceel (rood gevulde punten in figuur). De metingen langs de drains worden maandelijks uitgevoerd, meestal rond de 21e van iedere maand.

Metingen op gemarkeerde urineplekken

Op de percelen 2 en 13 zijn in 2005 en 2006 metingen uitgevoerd op urineplekken. Een urineplek is gemarkeerd na het moment dat visueel vastgesteld dat een koe op een bepaalde plek heeft geürineerd. De gemarkeerde urineplekken liggen per weidegang vaak relatief dicht bij elkaar, omdat koeien nu eenmaal kuddedieren zijn en het markeren op een bepaald moment plaatsvond. Naast de urineplekken zijn de lachgasfluxen op één meter vanaf de gemarkeerde urineplek gemeten. Dit zijn de nulmetingen naast de urineplek. Het is echter niet uit te sluiten dat deze locaties niet zijn besproeid met urine.

'Nul'-bemestingsveldjes

Vanaf 2008 worden 'nul'-bemesting veldjes ingericht (groen vlak in figuur, bijlage 3) op het 12 m drainage veld. Deze veldjes hebben afmetingen van ca. 5 x 5 meter en liggen op 1/3 perceelbreedte van de sloot. De 'nul'-bemestingsveldjes worden gebruikt als referentie voor de invloed van een N-bemesting op de proefpercelen. De 'nul'-bemestingsveldjes krijgen daarom geen N-bemesting, maar krijgen wel bemestingssupplementen (kali) zodat de groei van het gras zo min mogelijk achterblijft. Op de 0-bemestingveldjes zijn zes metingen uitgevoerd. De locatie van fluxkamers op de 0-veldjes zijn aselekt bepaald. In totaal zijn op 264 verschillende locaties, verspreid over de percelen 2, 3, 11 en 13 op enige dag een meting naar de lachgasflux uitgevoerd (figuur 12).



Figuur 12

Ligging van de locaties op proefboerderij Zegveld waar op enig tijdstip een lachgasmeting is uitgevoerd in de periode oktober 2005 tot oktober 2009.

3.2 Fluxkamers

Metingen van emissie vinden plaats in fluxkamers, die verschillende afmetingen kunnen hebben. De bij deze proef gebruikte fluxkamers wordt een pvc-ring in de grond geïnstalleerd. Op deze ring komt een omgekeerde emmertje te staan, waaraan twee slangetjes zijn bevestigd; een 'inlet' en een 'outlet'. De fluxkamer heeft een inhoud van 4,1 liter.



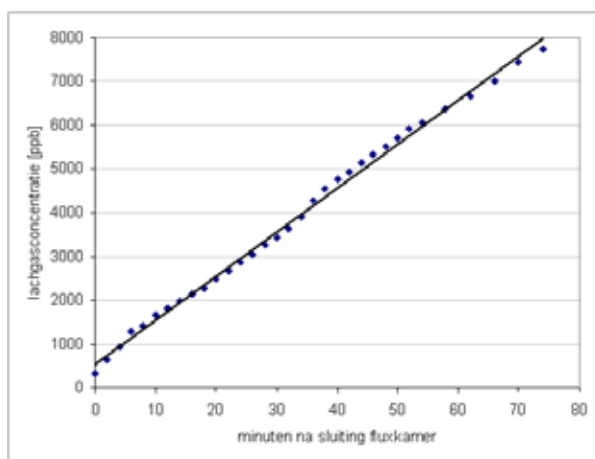
Foto 1

Lachgasmetingen op het perceel 13 met een hoog slootpeil (foto; Hummelink).

3.3 Veldmetingen

3.3.1 Lachgasfluxen

Op de proefvelden voor onderwaterdrainage zijn grondwaterstandbuizen geplaatst op één meter van de drain en tussen de drains. De grondwaterstandbuizen zijn aan het maaiveld afgewerkt met een tegel en worden tijdens de lachgasmetingen gebruikt als markering voor de locatie van de lachgasmetingen. Aangezien op de percelen het gangbare beheer wordt uitgevoerd, moeten de ringen na iedere meetsessie verwijderd worden. Bovendien blijft er in de winter water in de ringen staan, en droogt in de zomer de bodem in de ring zo sterk uit dat deze los komt te staan. Om de volgende keer zoveel mogelijk op dezelfde plek te kunnen meten worden de tegels van de grondwaterstandbuizen gebruikt om de drains en het midden tussen de drains voor de meetlocatie op te zoeken. De locaties op de onbemeste velden worden iedere keer willekeurig bepaald. De fluxkamer wordt 20 - 30 minuten gesloten door de emmer op de ring te plaatsen. De concentratie lachgas in de fluxkamer neemt in de tijd lineair toe (figuur 13) en wordt voordat de fluxkamer is afgesloten gemeten en na 20 - 30 minuten (figuur 16) (Velthof en Oenema, 1995b; Van Groenigen et al. 2004).



Figuur 13

Verloop van de concentratie lachgas (ppb) gemeten in de fluxkamer na sluiting van de fluxkamer. Op $t=0$ is de achtergrondconcentratie (308 ppb) van lachgas gemeten. Deze meting is uitgevoerd op perceel 13 op 17 augustus 2006.



Foto 2

Uitvoering van lachgasflux-metingen. De (fotoakoestisch infrarood) gasmonitor is aangesloten op een fluxkamer, de overige fluxkamers, achter de gasmonitor, zijn nog gesloten (foto: Hummelink).

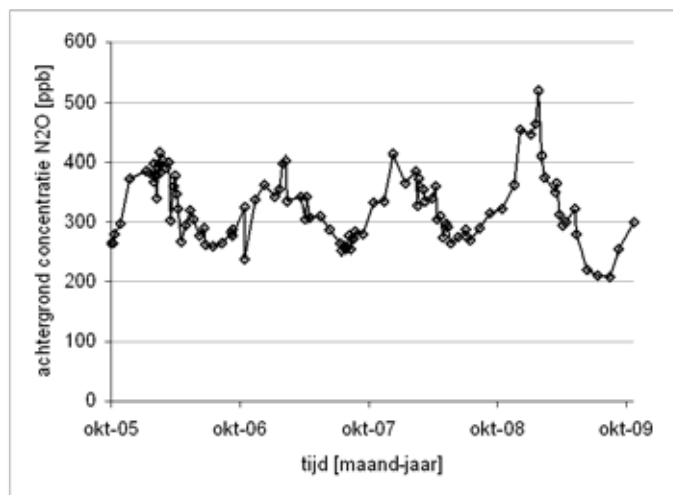
In totaal zijn op 123 verschillende dagen metingen op de proefpercelen uitgevoerd, waarvan op 27 dagen alleen op urineplekken is gemeten. In totaal zijn er 6657 metingen uitgevoerd (tabel 6) en nog eens 359 metingen op een gemarkeerde urineplek. Het grootste aantal metingen is op perceel 2 uitgevoerd, terwijl op de percelen 3 en 11 pas vanaf 2008 is gemeten (tabel 6).

Tabel 6

Aantal uitgevoerde metingen (tussen haakjes aantal dagen) op de verschillende percelen op praktijkbedrijf Zegveld in de periode oktober 2005 en november 2009.

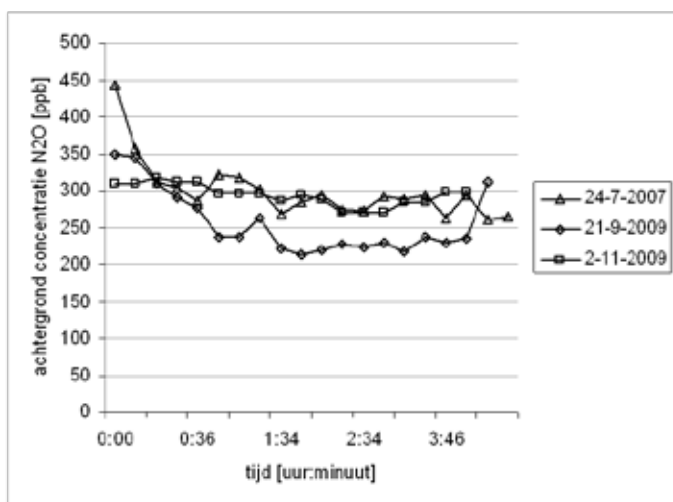
perceel	2006	2007	2008	2009
2	1356 (49)	900 (26)	569 (24)	444 (19)
3			198 (8)	264 (12)
11			198 (8)	256 (12)
13	1064 (49)	825 (27)	418 (15)	396 (17)

De eerste metingen worden op 11 oktober 2005 uitgevoerd, de laatste metingen op 2 november 2009. Voor de rapportage zijn jaargemiddelden en jaartotalen berekend op basis van een twaalfmaandelijke periode die begint op de dag met de eerste metingen en eindigt op de dag met de laatste metingen. Het eerste jaar, 2006, begint op 1 oktober 2005 en eindigt op 1 november 2006; het laatste jaar, 2009, begint op 1 oktober 2008 en eindigt op 2 november 2009. De emissie van lachgas wordt bepaald door de gemeten concentraties N_2O in de fluxkamers te corrigeren voor de achtergrondwaarden van N_2O in de lucht. Deze achtergrondwaarden variëren in de tijd en zijn in de winter hoger dan in de zomer (figuur 15).

**Figuur 14**

Achtergrondconcentratie van lachgas op Zegveld tussen oktober 2005 en oktober 2009.

In figuur 16 is de gemeten achtergrondconcentratie N_2O weergegeven voor drie verschillende dagen. In deze figuur is te zien dat op 27 april 2007 en 21 september 2009 de gemeten concentraties aan het begin van de meetreeks zeer sterk afnemen en na ca. 30 minuten stabiliseren. Er kan dus pas met het meten van de fluxkamers begonnen worden nadat de gasmonitor ten minste 30 minuten geleden is ingeschakeld. De standaarddeviatie van de gemeten concentratie N_2O in de lucht varieert, afhankelijk van de datum, tussen 10 en 50 ppb.



Figuur 15

Verloop van de gemeten lachgasconcentratie van de lucht op Zegveld na begin van de metingen op 27 april 2007 (driehoek), 21 september 2009 (ruit) en 2 november 2009 (vierkant). Pas nadat de gasmonitor 30 minuten geleden is ingeschakeld kan met het meten van de fluxkamers worden begonnen.

3.3.2 Grondwaterstanden

Op de proefpercelen zijn grondwaterstandbuizen geïnstalleerd met een filter tot één meter onder maaiveld. De buizen zijn over de hele lengte voorzien van een filter. In situaties waarbij er plasvorming optreedt kunnen de grondwaterstandbuizen van bovenaf vollopen en komt de gemeten waterstand in de buizen niet overeen met de grondwaterstand. In de praktijk treden deze situaties alleen op bij een volledig verzadigd bodemprofiel waarbij de grondwaterstanden zich nabij (maximaal 10 cm -mv.) het maaiveld bevinden. Op de natte percelen vindt deze situatie gedurende de hele winter plaats. Op de droge percelen komt dit 1-2 keer per jaar voor. De grondwaterstandbuizen bevinden zich precies tussen de drains op eenderde van de breedte van het perceel en zijn bij iedere lachgasmetingen opgenomen.

3.3.3 Vochtgehalte

Tussen 2005 en 2007 wordt het vochtgehalte van de bodem gemeten met behulp van een TDR (Time Domain Reflectometry) meter. De TDR-meter meet het volumetrisch watergehalte (volumetric water content, VWC) in het bodemprofiel. In 2008 – 2009 is het vochtgehalte van de bodem bepaald in het bodemchemisch laboratorium van Wageningen UR. Dit is gebeurd aan de hand van het gewichtsverlies na het drogen van de grond bij 40 °C.

3.3.4 Bodemonsters

In de periode januari 2007 tot en met september 2009 zijn op de percelen 2 en 13 van de laag 0 - 20 cm -mv. bodemonsters genomen voor de analyse op N-(NO₂ + NO₃) en N-NH₄ en vochtgehalte. Vanaf 2008 zijn, als de grondwaterstand dieper dan 40 cm -mv. daalde, ook monsters genomen van de laag 40 - 60 cm -mv. Daarnaast is tussen januari en juli 2007 de pH-KCL van de bovenste bodemlaag (0 - 20 cm -mv.) geanalyseerd. De bodemonsters bestaan uit een mengmonster van ca. twaalf steken, genomen bij de proefvelden zonder drainage, vier meter drainage en twaalf meter drainage en langs de sloot en midden op het perceel. Deze

monsters zijn in duplo genomen. Dit resulteerde in maximaal 32 monsters per veld en 64 monsters totaal (bij een grondwaterstand op beide percelen dieper dan 40 cm -mv.). In 2008 is de bemonsteringstrategie aangepast en zijn duplo-monsters vervallen. Vanaf 2009 zijn ook monsters genomen op de velden zonder N-bemesting. De bemonstering heeft telkens plaatsgevonden op de dag dat de maandelijkse fluxmetingen plaatsvonden. Alle hierboven genoemde monsters zijn geanalyseerd door het bodemchemisch laboratorium van Wageningen UR. Om inzicht te krijgen in het verloop van de pH en de concentratie stikstof met de diepte is gebruik gemaakt van metingen van Van den Akker et al., 2009.

3.4 Data analyse

De gemiddelde lachgasemissie kan op verschillende manieren worden berekend. In dit rapport wordt het rekenkundig gemiddelde van de gemeten lachgasfluxen over een bepaalde periode gebruikt. Nadeel van deze methode is dat de verdeling van de fluxen scheef is en daardoor enkele extreem hoge fluxen het gemiddelde onevenredig bepalen. Een methode om een gemiddelde te kunnen berekenen van een scheve verdeling is gebruik te maken van log-transformatie. De anti-log van het gemiddelde log10 is een goede schatting voor het gemiddelde van de lachgasfluxen. De gebruikte dataset bestaat echter uit meer dan 600 gegevens met een negatieve waarde, die niet kunnen worden getransformeerd. De cumulatieve fluxen over een bepaalde periode worden berekend door lineaire extrapolatie tussen de meetdagen. De variabiliteit van de lachgasfluxen wordt uitgedrukt in de variantie coëfficiënt (VC) volgens: $\sigma/\mu \cdot 100\%$. De ruimtelijke variabiliteit geeft de variatie van de lachgasfluxen weer op een perceel en wordt bepaald op basis van de gemiddelde flux van een bepaalde datum van een perceel (2005 - 2009). De temporele variabiliteit geeft informatie over de variatie van de lachgasfluxen op een bepaalde locatie gedurende de tijd en wordt bepaald aan de hand van de gemiddelde lachgasflux op een locatie (ID) gedurende de hele meetperiode (2005 - 2009). In dit verslag worden de gemiddelde VC's van een perceel gerapporteerd. Verschillen zijn getoetst met de T-test en een betrouwbaarheidsinterval van 95% ($P < 0,005$). Voor de berekening van de jaarlijkse emissie van lachgas wordt gebruik gemaakt van verschillende datasets (tabel 7). Dataset 1 bestaat uit alle metingen die maandelijks op de verschillende percelen op dezelfde dag zijn uitgevoerd. Voor de vergelijking tussen de percelen kunnen niet alle metingen (bijvoorbeeld na bemesting) worden meegenomen, omdat deze niet op alle percelen evenredig in aantal zijn gemeten. Dataset 2 en 3, die bestaan uit de metingen na respectievelijk bemesten en beweiden, worden gebruikt om de effecten van dat beheer op de emissie van lachgas te bepalen. Dataset 4 wordt gebruikt om het effect van incidentele gebeurtenissen (vorst, regen) te toetsen. Een jaar loopt van oktober - september. Het jaar kan verdeeld worden in een winter- en een zomerhalfjaar. De winter begint op 1 oktober en eindigt op 31 maart, aansluitend begint de zomer op 1 april en eindigt op 30 september. Deze indeling is gebaseerd op het groeiseizoen van het gewas, en sluit aan op het hydrologisch jaar dat van april - oktober loopt.

Tabel 7

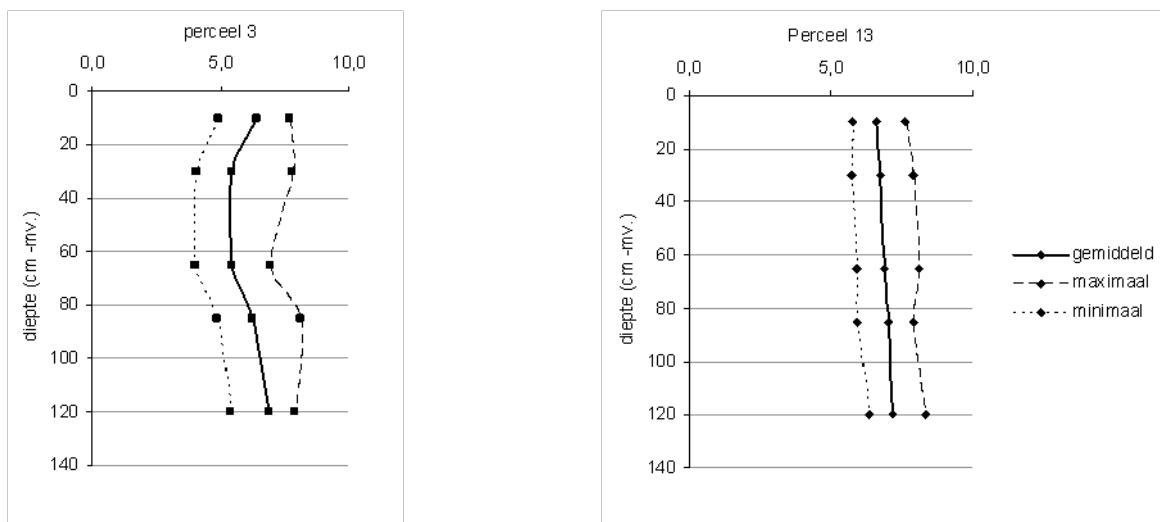
Gebruikte datasets voor het bepalen van de lachgasemissie per perceel

	Dataset	Rekenmethode	Paragraaf
Gemiddelde lachgasemissie	1	Rekenkundig gemiddelde	5,1
Gemiddelde lachgasemissie	1	Log transformeerde gem,	5,1
Cumulatieve lachgasemissie	1	Rekenkundig gemiddelde	5,2
Effect van hydrologische omstandigheden	1	Rekenkundig gemiddelde	5,3
Effect van weersomstandigheden	1	Rekenkundig gemiddelde	5,4
Effect van bemesten	2	Rekenkundig gemiddelde	5,5
Effect van beweiden	3	Rekenkundig gemiddelde	5,5
Incidentele waarnemingen	4	Rekenkundig gemiddelde	5,6
Extreme lachgasfluxen	1, 2, 3, 4	Rekenkundig gemiddelde	5,7

4 Bodemchemie

4.1 pH

De pH-water van het bovenste bodemvocht bedraagt op beide percelen ca. 6,5 en van de onderste laag ca. 7,0. Op beide percelen is de pH in de bovenste laag (15 cm -mv.) lager dan in de onderste laag (120 cm -mv.). Op perceel 13 verloopt de pH gelijkmatig met de diepte, maar op perceel 13 is de pH in de lagen 30 en 65 duidelijk lager dan in de bovenste laag. In figuur 17 is naast het gemiddelde verloop van de pH-water met de diepte de ook de hoogste (max.) en laagste (min.) pH waarde weergegeven. De pH-KCL van de bodem (niet weergegeven) op perceel 2 is significant lager dan op perceel 13 en schommelt rond 4,3; de pH op perceel 13 beweegt rond 4,8. Er is weinig variatie in de pH-KCL in de tijd en ruimte.



Figuur 16

pH-profielen van het bodemvocht voor de percelen 3 en 13 op Zegveld.

4.2 Stikstof

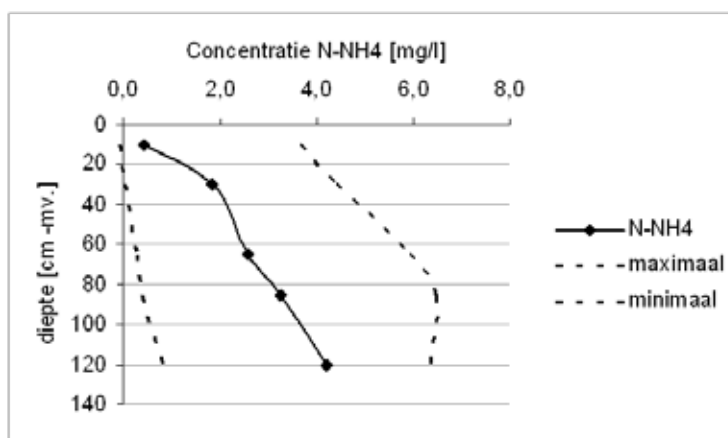
Bodemvocht

De totale hoeveelheid stikstof wijkt op de percelen niet veel van elkaar af. De nitraatconcentratie in het bodemvocht van perceel 13 is over het hele profiel hoger dan op perceel 3 (tabel 8). De concentratie ammonium -N neemt flink toe met de diepte, terwijl de concentratie nitraat -N afneemt met de diepte. In de figuren 18 en 19 is het concentratieprofiel voor ammonium -N en nitraat -N weergegeven van perceel 13. De concentraties ammonium -N en nitraat -N in het bodemvocht wisselen sterk. In figuur 20 is het verloop van de concentratie nitraat -N op de percelen 3 en 13 uitgezet in de tijd. In de figuur 20 zijn uitschieters in de concentratie waar te nemen, maar de bemonsteringsfrequentie en de periode is te kort om de wisselingen ergens aan te kunnen koppelen.

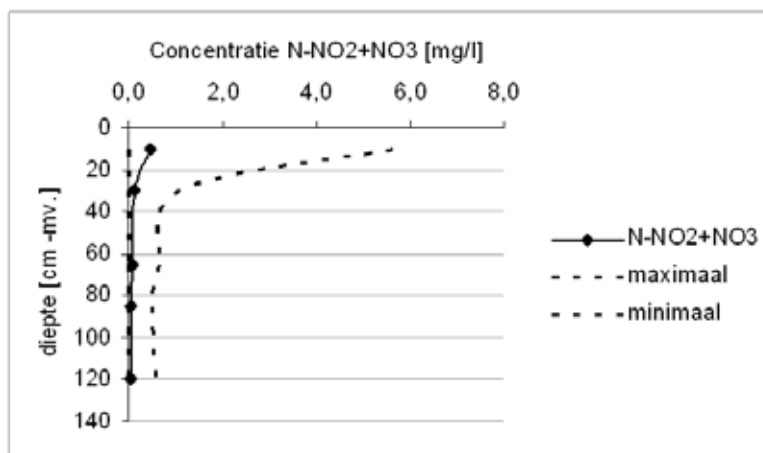
Tabel 8

Gemiddelde concentratie N-NH_4 , N-NO_3 en N-totaal in mg/l op de percelen 3 en 13 op Zegveld uit bodemvocht op de dieptes 10, 30, 65, 85 en 120 cm -mv, in de periode januari 2004 - januari 2007.

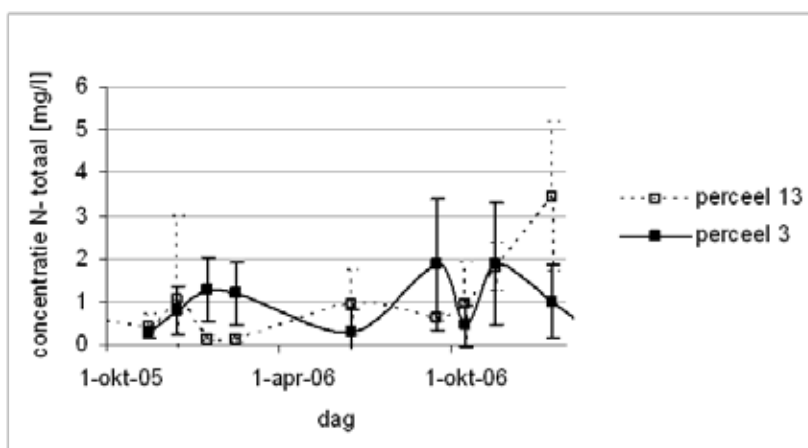
Diepte	Perceel 2			Perceel 13		
[cm -mv.]	N-NH_4 [mg/l]	N-NO_3	N-totaal	N-NH_4	N-NO_3	N-totaal
30	1,90	0,09	1,99	1,85	0,10	1,94
65	2,94	0,04	2,97	2,60	0,08	2,68
85	3,23	0,03	3,26	3,26	0,05	3,31
120	4,12	0,02	4,14	4,22	0,03	4,25

**Figuur 17**

Verloop van de concentratie N-NH_4 met de diepte op perceel 13 van Zegveld.

**Figuur 18**

Verloop van de concentratie $\text{N-NO}_2 + \text{NO}_3$ met de diepte op perceel 13 van Zegveld.

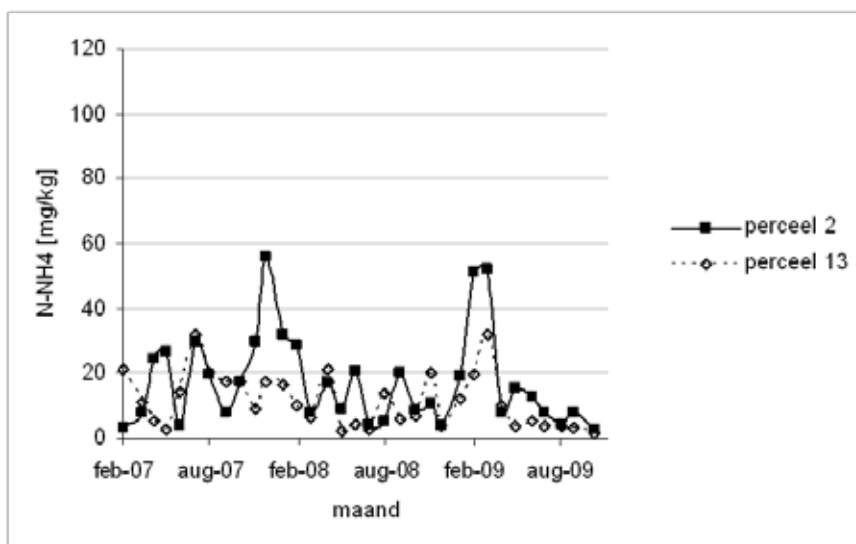


Figuur 19

Verloop van de gemiddelde concentratie (met standaard afwijking) N-totaal [mg N/l] in bodemvocht op 10 cm -mv. op de percelen 3 (droog) en 13 (nat) op Zegveld, in de periode 1 oktober 2005 - 8 januari 2007.

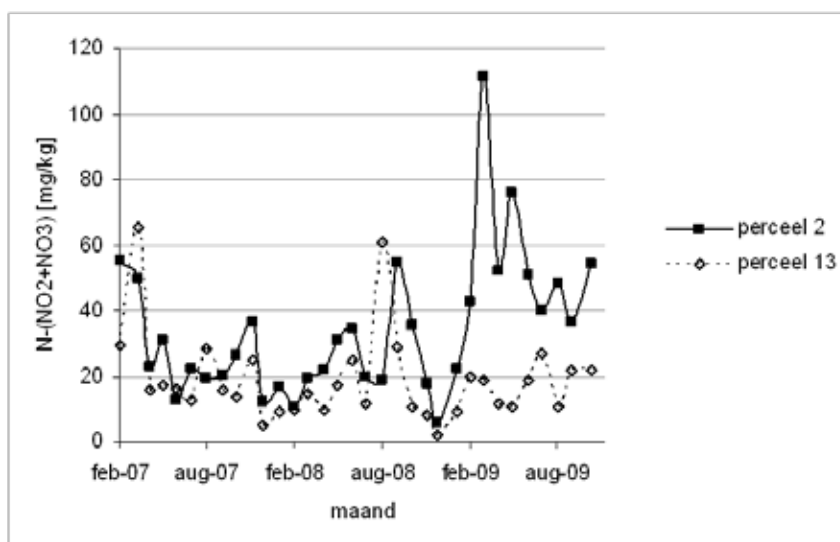
Bodem

De hoeveelheid ammonium -N en nitraat -N in de bodem heeft een grillig verloop in de tijd (figuur 21 en 22) en ruimte. De hoge pieken in de gemiddelde hoeveelheid N worden veroorzaakt door hoge waarden op enkele punten. De ruimtelijk variatie wordt vooral bepaald door grote verschillen in ammonium -N concentraties van de bodem op enkele plekken. Lokaal kunnen de ammonium -N concentraties oplopen tot meer dan 200 mg N/kg, terwijl op andere locaties de concentraties weinig afwijken van het doorlopende gemiddelde. De nitraat -N gehalten van de bodem zijn gelijkmatiger in de ruimte verdeeld, hoewel hier ook af en toe flink uitschieters voorkomen.



Figuur 20

Verloop van de concentratie $N-NH_4$ [mg N/kg grond] in de laag 0 - 20 cm -mv., op de percelen 2 (droog) en 13 (nat) op Zegveld, in de periode februari 2007 - oktober 2009.



Figuur 21

Verloop van de concentratie $N-NO_3$ [mg N/kg grond] in de laag 0 - 20 cm -mv. op de percelen 2 (droog) en 13 (nat) op Zegveld, in de periode februari 2007 - oktober 2009.

In tabel 9 zijn de gemiddelde N-gehalten van de bodem op de percelen 2 en 13 weergegeven. Het stikstofgehalte op perceel 2 (59 mg N/kg) is significant hoger ($P < 0,05$) dan op perceel 13 (38 mg N/kg), zowel de hoeveelheid ammonium als nitraat zijn op perceel 2 hoger dan op perceel 13. Er komen op beide percelen duidelijk pieken in de hoeveelheid ammonium -N en nitraat -N voor, maar de pieken vallen per perceel niet op hetzelfde moment. In de zomer zijn de gehalten N in het algemeen lager dan in de winter. Vanaf mei 2009 zijn er bemonsteringen op de nul velden uitgevoerd. Het nitraatgehalte is op perceel 2 significant hoger ($P < 0,05$) dan op perceel 13, het ammoniumgehalte is op perceel 2 niet significant hoger dan op perceel 13. Op beide percelen is het nitraatgehalte op de niet-bemeste velden lager dan op de bemeste velden, maar het verschil is alleen op perceel 2 significant. De verschillen in het N-gehalte tussen de percelen 2 en 13 kan worden toegeschreven aan de hogere N-bemestingsgift op perceel 2. Hoewel op de nul velden vanaf 2007 geen N-bemesting meer heeft plaatsgevonden is er een verschil in het N-gehalte op perceel 2 en 13, wat voorkomt uit de bemestingsgeschiedenis. Op beide percelen is ca. 85% van het elementaire N afkomstig van nitraat ($N_2O + NO_3$). Op het nul veld van perceel 2 is 80% van het elementaire N afkomstig uit nitraat en op perceel 13 is dat 73%. Dit is een aanwijzing dat op perceel 2 de omzetting van ammonium naar nitraat sneller verloopt dan op perceel 13.

Tabel 9

Gemiddelde gehalten $N-NH_4$ en $N-NO_3$ in mg N/kg in de laag 0 - 20 cm -mv. op de percelen 2 en 13 in Zegveld voor de periode mei 2009 - oktober 2009.

	$N-NH_4$ [mg/kg]	$N - (NO_2 + NO_3)$ [mg/kg]	$N - Totaal$ [mg/kg]
Perceel 2			
Gangbaar bemest	8,4	50,8	59,2
Nul bemesting	7,4	30,4	37,9
Perceel 3			
Gangbaar bemest	3,6	18,3	21,9
Nul bemesting	3,4	9,4	12,8

4.3 Vochtgehalte

TDR metingen

Gedurende de hele meetperiode is het gemeten VWC op perceel 2 lager dan op perceel 13, maar de verschillen tussen beide percelen zijn niet significant ($P > 0,05$). De laagste waarden worden bereikt aan het einde van juli 2006, de hoogste waarden in de winter 2006 - 2007. De slootkanten hebben het hele jaar door een lager vochtgehalte dan het midden van het perceel. Op perceel 2 is de bovengrond gemiddeld droger op het gedraineerde gedeelte dan op het niet-gedraineerde gedeelte van het perceel (tabel 10).

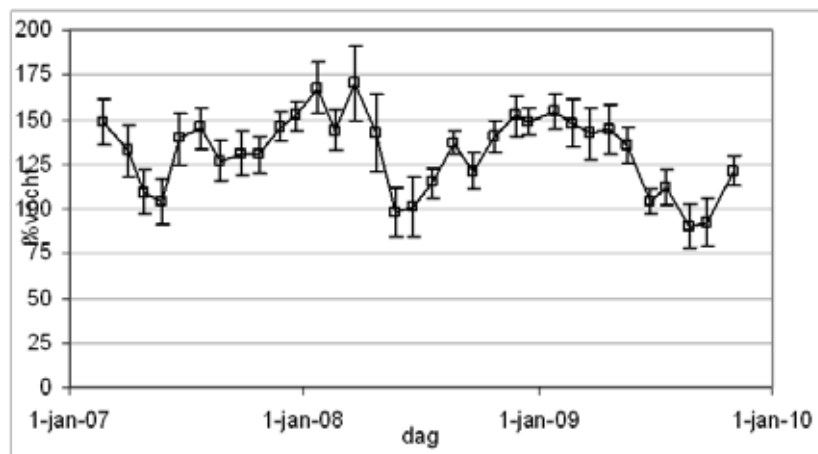
Tabel 10

Gemiddelde volumetrisch water-gehalte van de bodem op de percelen 2 en 13 in Zegveld. Verschillen zijn tussen de slootkant en het midden van de percelen zijn significant ($P < 0,005$), overigens zijn de verschillen niet significant maar wel systematisch.*

Perceel	Φ_w -totaal		verschil
2	65		
3	67		2
	sloot	midden	
2	63	57	6*
3	69	63	5*
	drains	geen drains	
2	61	56	6*
3	66	65	1

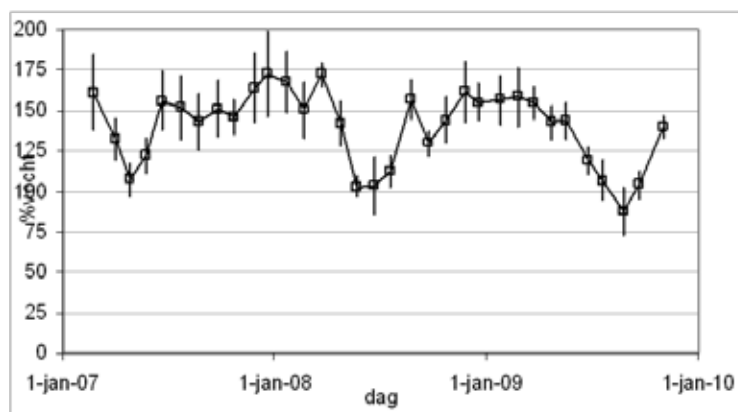
Gewichtspercentage vocht

In figuur 23 is het vochtgehalte, uitgedrukt in het gewichtspercentage vocht ten opzichte van de stoofdroge grond, uitgezet in de tijd (2007 - 2009). Het vochtgehalte op perceel 2 (laag slootpeil) is gemiddeld bijna 10% lager dan het vochtgehalte op perceel 13 (hoog slootpeil), echter in de zomer droogt de bovenste 20 cm van het bodemprofiel op perceel 13 net zoveel uit als op perceel 2. Hoewel er een significant verschil is tussen het vochtgehalte tussen het natte (perceel 13) en het droge (2) perceel, zijn de verschillen binnen de percelen, tussen de slootkant en het midden van het perceel, groter. Op perceel 13 heeft de slootkant gemiddeld een 10% drogere bovengrond (0 - 20 cm -mv.) dan het midden van het perceel, en op perceel 2 is het verschil ca. 15%. Er is geen significant verschil tussen het vochtgehalte van de bovengrond waargenomen tussen het gedraineerde en nietgedraineerde veld van beide percelen.



Figuur 22

Verloop van het percentage vocht (t.o.v. stoofdroge grond) op perceel 2 (droog) in Zegveld.



Figuur 23

Verloop van het percentage vocht (t.o.v. stoofdroge grond) op perceel 13 (nat) in Zegveld.

5 Resultaten

5.1 Gemiddelde lachgasemissie

Jaargemiddelden op basis van maandelijkse metingen (dataset 1)

De gemiddelde jaarlijkse emissie van lachgas op basis van de maandelijkse metingen varieert van <10 g N-N₂O /ha/d op perceel 11 tot >80 g N-N₂O /ha/d op perceel 2 (tabel 11). De gemiddelde lachgasemissie is het hoogst op perceel 2 en het laagst op perceel 11. De natte percelen hebben een gemiddeld lagere emissie (factor 4,5) dan de droge percelen (2 en 3), maar de gemiddelde emissie op perceel 13 (nat) is hoger dan op perceel 3 (droog). De lachgasemissie van perceel 2 is alle jaren hoger dan van de andere percelen. De verschillen zijn, uitgezonderd van perceel 13 in 2008, significant (P<0,05). Het droge perceel 3 heeft in 2008 en 2009 een significant (P<0,05 in 2008 en P<0,001 in 2009) lagere emissie van lachgas dan perceel 2. Perceel 13 heeft zowel in 2008 als in 2009 een significant hogere lachgasemissie van perceel 11 (P<0,02 in 2008 en P<0,001 in 2009). De lachgasemissie van perceel 13 is in 2008 en 2009 hoger dan van perceel 3, maar deze verschillen zijn niet significant.

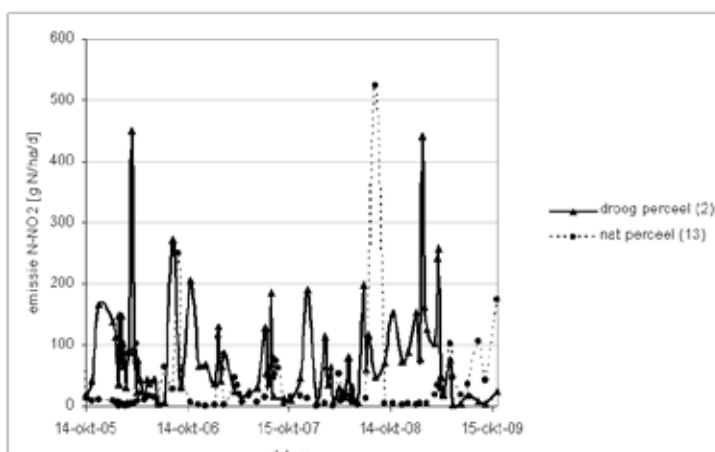
Tabel 11

*Gemiddelde, mediaan en 5% en 95% van de emissie N-N₂O (g N/ha/d) van de percelen 2, 3, 11 en 13 tussen oktober 2005 en september 2009 op Zegveld op basis van dataset 1. *In 2008 zijn de percelen 3 en 11 vanaf januari gemeten en ontbreken de maanden oktober - december 2007.*

Jaar	droge percelen	natte percelen								
		gem.	mediaan	5%	95%		gem.	mediaan	5%	95%
2006	2	87,6	20,6	1,0	392,7	13	20,9	3,8	-2,9	84,4
2007	2	59,6	19,6	2,4	235,7	13	13,4	3,4	-1,4	50,4
2008	2	60,9	11,7	0,3	276,4	11*	6,7	2,6	-1,6	20,1
	3*	23,1	7,3	-0,2	87,2	13	50,9	3,0	-1,8	154,5
2009	2	59,7	17,9	-1,0	246,6	11	9,6	1,9	-3,0	42,8
	3	26,8	7,3	-0,2	117,6	13	34,9	4,3	-1,1	159,5

Jaargemiddelden op basis van alle metingen (data set 1, 2 en 4)

De lachgasfluxen vertonen een grillig verloop in de tijd, met piekemissies van meer dan 100 g N/ha/d (perceel 2 en perceel 13). Een aantal van deze pieken worden gemist wanneer alleen op basis maandelijkse metingen de fluxen worden geanalyseerd. Op perceel 2 komen gedurende de hele meetperiode (oktober 2005 – september 2009) regelmatig pieken voor, op perceel 13 springt alleen de flux van 22 augustus 2008 eruit met een lachgasflux van meer dan 500 g N-N₂O /ha/d. (figuur 25). Op de percelen 3 en 11 (2008 - 2009) zijn veel kleinere schommelingen in de lachgas fluxen waargenomen. Hier bedragen de maximale perceel gemiddelde fluxen respectievelijk 54 en 21 g N-N₂O /ha/d (niet weergegeven).



Figuur 24

Gemiddelde $N-N_2O$ fluxen ($g\ N/ha/d$) op de percelen 2 en 13.

De berekende gemiddelde jaarlijkse emissie van lachgas op basis van alle metingen is vergelijkbaar met de berekende gemiddelde emissie op basis van de maandelijkse metingen (tabel 12). In 2008 is de berekende gemiddelde emissie op de percelen 2 en 13 lager wanneer de metingen direct na bemesting worden meegenomen, en in 2009 is dat alleen op perceel 13 het geval. In 2009 is de berekende gemiddelde emissie op perceel 2 met inbegrip van de metingen na een bemesting duidelijk hoger (resp. 60 en 111 $N-N_2O$ /ha/d) dan het gemiddelde op basis van de maandelijkse metingen. De mediane waarden zijn allemaal iets hoger als de metingen na een bemesting worden meegenomen in de berekening. Het berekend 95- percentiel is fors hoger nadat de metingen na bemesting worden meegenomen in de analyse. Alleen in 2007 is het 95% van de lachgasemissie op de percelen 2 en 13 lager. Het meenemen van metingen direct na bemesting leidt dus niet per definitie tot een hoger berekende jaar emissie van lachgas.

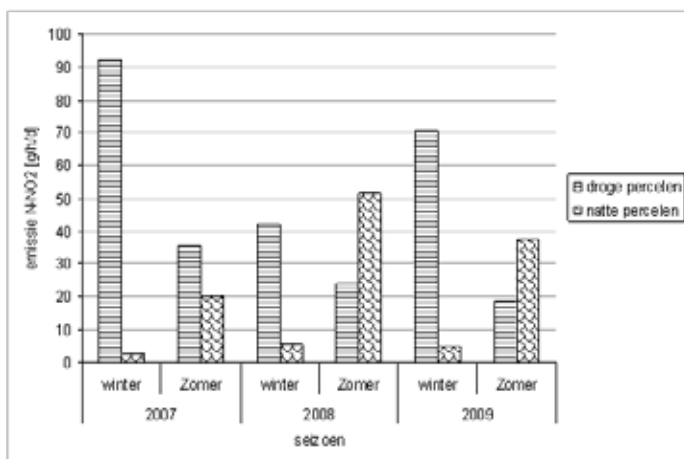
Tabel 12

Gemiddelde, mediaan en 5 en 95% van de emissie $N-N_2O$ ($g\ N/ha/d$) van de percelen 2 en 13 tussen oktober 2005 en september 2009 op Zegveld op basis van dataset 1 en 2.

perceel 2 (droog)	perceel 13 (nat)				perceel 2 (droog)	perceel 13 (nat)			
	gem.	mediaan	5%	95%		gem.	mediaan	5%	95%
2006	88	26,3	0,8	461,2	2006	33	5,2	-1,6	163,0
2007	67	23,2	2,3	284,3	2007	28	4,7	-1,0	128,9
2008	58	13,1	0,3	238,1	2008	39	3,5	-2,2	80,4
2009	111	27,1	-1,1	467,1	2009	25	4,5	-1,2	152,7

Seizoensgemiddelden (data set 1)

Op de natte percelen is de gemiddelde emissie van lachgas in de winter significant ($P < 0,05$) hoger (78 $g\ N-N_2O$ /ha/d) dan in de zomer (40 $g\ N-N_2O$ /ha/d), terwijl op de natte percelen de emissies in de winter significant ($P < 0,05$) lager (6 $g\ N-N_2O$ /ha/d) zijn dan in de zomer (52 $g\ N-N_2O$ /ha/d). In alle jaren is de emissie van lachgas op de droge percelen in het winterseizoen hoger zijn dan in de zomer, terwijl op de droge percelen in de zomer de lachgasemissie hoger is dan in de winter (figuur 26).



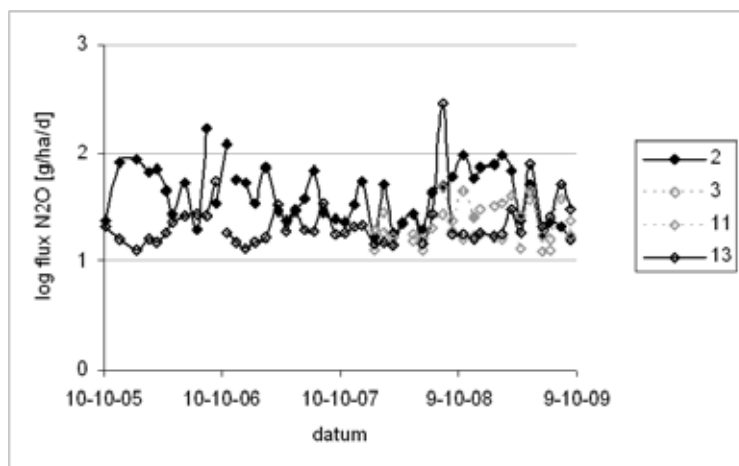
Figuur 25

Gemiddelde emissie van lachgas [g N/ha/d] per seizoen op de droge en natte percelen van proefboerderij Zegveld. Winterseizoenen van oktober - april, zomerseizoenen van april – oktober.

In figuur 25 is het verloop van de fluxen per maand (2005 - 2009) op de percelen 2 en 13 weergegeven. Op perceel 13 is de flux relatief hoog, terwijl op perceel 2 de flux juist laag is; het is één van de spaarzame momenten dat de gemeten flux op perceel 13 hoger is dan op perceel 2 (respectievelijk 63,9 en 6,0 g N- N₂O /ha/d). In augustus slaat het weer om en wordt het extreem nat. Op perceel 13 zakt de flux wat terug (27,8 N- N₂O /ha/d), terwijl op perceel 2 een flinke toename is gemeten (272,8 g N- N₂O /ha/d). Vervolgens verloopt september weer droog en warm en neemt de flux op perceel toe (g 57,8 N- N₂O /ha/d) en op perceel 2 af (31,5 g N- N₂O /ha/d). De samenhang tussen natte omstandigheden tijdens de zomer en hoge fluxen op perceel 2 en lage fluxen op perceel 13 gaat in 2007 ook op voor juni en september, maar niet voor de maand juli. Juni 2008 is een vrij droge maand (48 mm) en op beide percelen neemt de flux af. Juli is vervolgens zeer nat (>100 mm) en gelijktijdig neemt de flux op perceel 2 flink toe. Ook augustus 2008 is zeer nat, maar nu wordt juist op perceel 13 de grootste perceel gemiddelde flux waargenomen (713 g N- N₂O /ha/d). De zomer van 2009 geeft een normaler beeld in de neerslag te zien, waarbij de grondwaterstanden gedurende het seizoen langzaam uitzakken en de bovengrond steeds verder opdroogt. Vanaf mei zijn de fluxen op perceel 13 hoger dan op perceel 2 en daarbij neemt de flux van perceel 13 steeds verder toe naarmate de zomer vordert.

Log- getransformeerde gemiddelde lachgasemissie

De hoge pieken in de waargenomen fluxen pleiten ervoor de gemiddelden uit te zetten op een logaritmische schaal (figuur 27). In deze figuur is duidelijk een systematisch verschil in de lachgasflux te zien tussen de droge en natte percelen. Verder is de temporele variabiliteit op perceel 2 groter dan op perceel 13. Op perceel 13 is de gemiddelde flux op perceel 13 in de winter duidelijk lager dan op perceel 2, terwijl op perceel 2 gedurende het jaar tamelijk constant lijkt. In tabel 13 zijn de log getransformeerde gemiddelde van de lachgasfluxen op de proefpercelen per jaar weergegeven. Hiertoe zijn alle getallen uit dataset 1 opgehoogd met 13,89. Perceel 2 heeft alle jaren een significant hogere lachgas flux dan perceel 13. De fluxen op de droge percelen zijn systematisch hoger dan op de natte percelen, maar perceel 3 is niet significant hoger dan de percelen 11 en 13. Perceel 2 heeft een significante hogere lachgasflux dan perceel 3. Vergelijking tussen de tabellen 11 en 13 leert dat de log getransformeerde gemiddelden lager zijn de rekenkundige gemiddelde lachgasfluxen. De pieken in de waargenomen lachgasfluxen veroorzaken dus een scheve verdeling.



Figuur 26

De log(10) gemiddelde N_2O fluxen ($g\ N/ha/d$) op de droge percelen 2 en 3 en de natte percelen 11 en 13 op Zegveld, gebaseerd op de maandelijkse metingen rond de 21e tussen oktober 2005 en september 2009.

Tabel 13

Gemiddelde van de log getransformeerde emissie $N-N_2O$ ($g\ N/ha/d$) van de percelen 2, 3, 11 en 13 tussen oktober 2005 en september 2009 op Zegveld. Jaar 2006 = oktober 2005 – september 2006, enz. *In 2008 zijn de percelen 3 en 11 vanaf januari gemeten en ontbreken de maanden oktober - december 2007.

perceel	2006		2007		2008		2009	
	gem.	mediaan	gem.	mediaan	gem.	mediaan	gem.	mediaan
droog								
2	24,7	26,6	21,0	19,6	10,9	11,7	20,1	31,5
3*					4,4	5,0	10,3	11,5
nat								
11*					1,8	2,6	1,9	2,5
13	2,4	3,8	2,6	3,4	2,8	3,0	5,1	5,0

Lachgas consumptie

Op bepaalde dagen worden op de proefpercelen negatieve netto fluxen waargenomen. De waargenomen gemiddelde negatieve netto lachgasflux kan oplopen tot bijna $5\ g\ N-N_2O /ha/d$ (perceel 2, zie tabel 14). Het gemiddelde van de negatieve lachgasfluxen van een bepaalde dag is in alle gevallen kleiner, en meestal ten minste tweemaal kleiner dan het gemiddelde van de positieve lachgasfluxen. Het aantal locaties met een negatieve netto flux kan per dag per perceel oplopen tot meer dan 75% van het totale aantal locaties. Het totaal aantal locaties met een negatieve netto flux zegt echter niets over de grootte van de lachgasconsumptie. Op 21 juli heeft op perceel 11 meer dan de helft van de locaties een negatieve lachgasflux, maar het gemiddelde van de negatieve fluxen is slechts 2% van het gemiddelde van de positieve fluxen. Op de droge percelen is 3% van de gemeten fluxen lager dan de achtergrondwaarde en op de natte percelen is dat 13%. Het totale aantal negatieve netto fluxen beperkt zich op de droge percelen in de meeste gevallen tot enkele locaties per dag, maar kan oplopen tot drie kwart van alle waarnemingen. Het grootste gedeelte van de negatieve netto fluxen betreffen kleine afwijkingen. In 50% van de gevallen met een negatieve flux bedraagt de afwijking ca. 4% van de achtergrond waarde. Er zijn echter ook een aantal waarnemingen

waarbij de achtergrondwaarden substantieel lager is dan de gemeten lachgasconcentratie in de fluxkamers. De grootste negatieve lachgasflux wordt gemeten op 21 april 2009 op perceel 13 en bedraagt 155 ppb. Op deze dag is dat de enige negatieve netto lachgasflux.

Tabel 14

Hoeveelheid N-N₂O (g N/ha/d) dat door consumptie op bepaalde dagen op de verschillende percelen is opgetreden, het percentage van het gemiddelde van de locaties met een negatieve flux ten opzichte van het gemiddelde van de locaties met een positieve flux en het percentage van de meetlocaties waarvan een negatieve flux is gemeten ten opzichte van het totaal aantal locaties op het betreffende perceel.

perceel	datum	Consumptie van N-N ₂ O				
		Gemiddeld [g N/ha/d]	Hoogst [g N/ha/d]	Laagst [g N/ha/d]	% Gem.	% locaties
2 (droog)	25 mei 2009	4,7	11,0	0,4	54	50
11 (nat)	20 juni 2008	1,15	2,7	0,1	48	50
	24 juni 2009	2,49	8,7	0,1	36	75
	21 juli 2009	1,22	3,98	0,24	2	58
	21 september 2009	3,04	7,66	0,32	16	46
13 (nat)	29 november 2005	1,05	3,4	0,09	5	48
	19 januari 2006	3,34	9,55	0,12	8	77
	19 januari 2007	1,18	3,97	0,08	46	42
	22 januari 2008	0,61	1,84	0,22	46	42

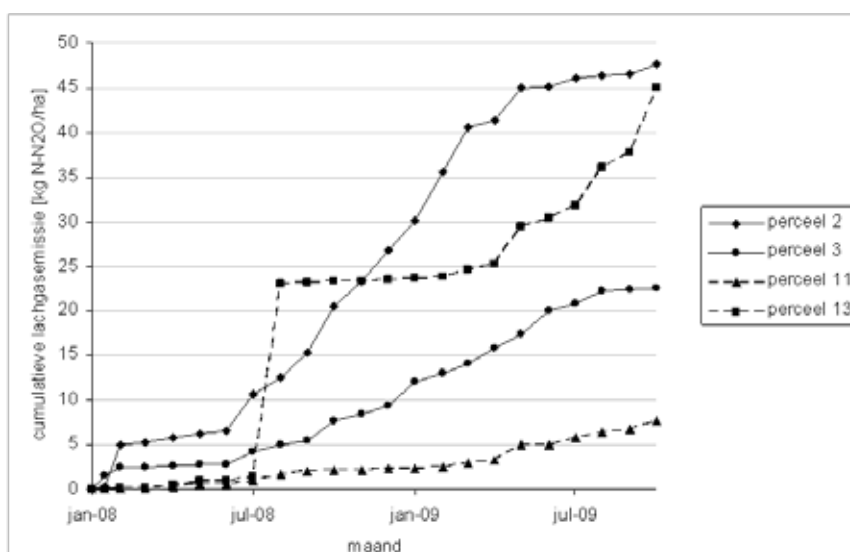
5.2 Cumulatieve lachgasemissie (data set 1)

De cumulatieve fluxen variëren van 5 - 61 kg N- N₂O /ha op de natte percelen en 14 tot - 34 kg N- N₂O /ha op de droge percelen (tabel 15). De cumulatieve fluxen op perceel 13 zijn in de jaren 2006 en 2007 duidelijk lager dan op perceel 2, maar in 2008 en 2009 zijn ze vergelijkbaar. De totale emissie van N- N₂O wordt op perceel 13 voor 92% behaald uit de gemeten emissie van één meetmoment. Op het natte perceel zijn de fluxen tussen oktober en februari nihil, maar nemen in het voorjaar en zomer toe. Op perceel 2 is de lachgasflux in de winter groter dan in de zomer. In figuur 27 is de cumulatieve lachgasflux van 2008 voor de percelen 2 en 13 weergegeven. De totale lachgasemissie van perceel 13 wordt bepaald door één meetmoment, terwijl de totale emissie op perceel 2 zich gelijkmatiger heeft opgebouwd. Zonder de hoge gemeten lachgasfluxen op perceel 13 in augustus 2008 zou de cumulatieve lachgasflux minder afwijken van de gemeten fluxen in de andere jaren.

Tabel 15

Cumulatieve jaar fluxen in kg N- N₂O/ha/jaar op basis van de maandelijkse metingen (dataset 1) op de percelen 2, 3, 11 en 13 en van dataset 2 op de percelen 2 en 13 op de proefboerderij Zegveld.

Jaar	laag slootpeil		hoog slootpeil	
	perceel 2	perceel 3	perceel 11	perceel 13
	Data set 1	Data set 1 + 2	Data set 1	Data set 1 + 2
2006	34	32		7
2007	22	14		5
2008	23	15		24
2009	31	23	13	7
				15
				12

**Figuur 27**

Cumulatieve lachgasfluxen (kg N₂O/ha) van 1 januari 2008 - 31 oktober 2009 op de proefpercelen in Zegveld.

5.3 Variabiliteit van de lachgasemissies

Temporele variabiliteit (data set 1 en 2)

De variantie coëfficiënt (VC) in de gemeten gemiddelde lachgasfluxen is hoog (tabel 16). Op de natte percelen 11 en 13 wordt 49% van de jaarlijkse emissie veroorzaakt door een gebeurtenis (bemesting), op de droge percelen is dat 24%. De momenten met een extreem hoge emissie is op de verschillende percelen niet dezelfde. Schattingen van de gemiddelde lachgasemissie van een perceel in een bepaalde periode zijn moeilijk te maken, omdat er grote verschillen optreden in de gemeten fluxen tussen de meetlocaties en tussen verschillende tijdstippen. Dit uit zich in een hoge variabiliteit (>142%). De temporele variabiliteit is vooral in het natte perceel (13) hoog. Op dat perceel zijn gedurende het hele jaar de lachgasfluxen relatief laag, maar kunnen onder bepaalde omstandigheden pieken. De temporele variabiliteit lijkt op het natte perceel een trend te vertonen in de tijd, waarbij de variantie coëfficiënt (VC) in de winter hoger is dan in de zomer. De variantie lijkt niet samen te hangen met de gemiddelde hoogte van de fluxen; de spreiding rond het gemiddelde is bij lage fluxen net zo groot als bij gemiddeld hoge lachgasfluxen. De hogere VC wordt dus veroorzaakt door de lage lachgasfluxen en niet door een hogere variantie. Op de velden met drainage is de temporele variabiliteit

wat hoger dan op de velden zonder drainage en in het midden van de percelen is de variabiliteit hoger dan langs de slootkanten. De waargenomen verschillen zijn niet significant, maar kunnen wel gekoppeld worden aan een grotere variaties in de vochthuishouding van de bodem in het midden van de percelen en op de niet gedraineerde velden. De temporele variabiliteit van de onbemeste velden (niet afgebeeld) wijkt niet significant af van de temporele variabiliteit op de bemeste delen van de percelen.

Tabel 16

Gemiddelde VC voor temporele variabiliteit (%) voor het droge (2) en natte (13) perceel. De verschillende voetnoten verwijzen naar significante verschillen in de kolommen ($p < 0,05$).

	Droog perceel	Nat perceel
Alle gegevens	196 ^{a)}	266 ^{a)}
Geen drainage	209	291
Gedraineerd (alle afstanden)	191	274
Slootkant	142	262
Midden van het perceel	218	291
Zomer half jaar	175	211 ^{b)}
Winter half jaar	177	568 ^{b)}

^{a)} + ^{b)} significant verschil ($P < 0,001$)

Ruimtelijke variabiliteit

De VC van lachgasluxen in de ruimte is net als de VC in de tijd groot en varieert tussen 36% en 165% (tabel 17). De ruimtelijke variabiliteit is op het droge perceel gemiddeld significant (voor $P < 0,05$) lager dan op het natte perceel. Dit geldt echter niet voor alle jaren en jaargetijden. In de proefvelden zonder drainage is de ruimtelijke variabiliteit kleiner wanneer er geen drainage aanwezig is. Op het droge perceel is dit ruim 20% en op het natte perceel 71%. De verschillen tussen de gedraineerde en niet-gedraineerde verschillen zijn echter niet significant. Opvallend is de zeer hoge ruimtelijke variabiliteit ($> 500\%$) in het midden van het natte perceel. De ruimtelijke variabiliteit neemt toe bij een gemiddeld hogere lachgasflux, maar het effect is veel minder groot dan bij de temporele variabiliteit. De extreme hoge gemiddelde lachgasflux op perceel 13 van 22 augustus 2008 gaat samen met een zeer hoge ruimtelijke variantie. De ruimtelijke variabiliteit neemt op het droge perceel toe, als de grondwaterstand stijgt ($p < 0,0001$, $R^2_{adj} = 0,35$). Op het droge perceel (2) is de temporele variabiliteit gerelateerd aan de variabiliteit van de $N-NO_3$ gehalte van de bodem ($p = 0,10$). Wanneer de $N-NO_3$ gehalte van de bodem sterk variabel zijn, zijn ook de lachgasfluxen sterk variabel. Er is echter geen relatie gevonden tussen de absolute $N-NO_3$ gehalte van de bodem en de variabiliteit van de lachgasfluxen. Er is geen duidelijk patroon in de hoogte van de lachgasfluxen in de percelen. De aanwezigheid van drainage heeft maar weinig effect op de hoogte en de variabiliteit op de emissie van lachgas, terwijl de aanwezigheid van drainage wel invloed heeft op het verloop van de grondwaterstanden.

Tabel 17

Gemiddelde VC voor ruimtelijke variabiliteit (%) voor het droge (2) en natte (13) perceel. De verschillende voetnoten verwijzen naar significante verschillen in de kolommen ($p < 0,05$).

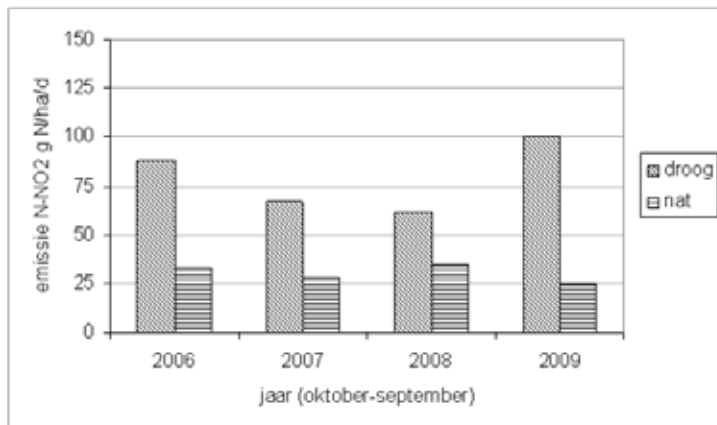
	Droog perceel	Nat perceel
Alle gegevens	140 ^{c)}	166 ^{c)}
Geen drainage	105	100
Gedraineerd (alle afstanden)	126	171
Slootkant	99	132
Midden van het perceel	114	597
Zomer half jaar	133	170
Winter half jaar	147	161

^{c)} significant verschil ($P < 0,05$)

5.4 Effect van hydrologische omstandigheden op de emissie van lachgas

Effect van de drooglegging op de emissie van lachgas (dataset 1)

In figuur is de gemiddelde flux van de natte en droge percelen van de meetjaren 2007 - 2009 weergegeven. Er is duidelijk een systematisch verschil zichtbaar tussen de natte en droge percelen; de droge percelen hebben ieder jaar een significant ($P < 0,002$) hogere emissie dan de natte percelen. De gemiddelde emissie van lachgas is over de hele periode 2005 - 2009 op de droge percelen hoger dan op de natte percelen ($P < 0,0001$).

**Figuur 28**

Gemiddelde N-N₂O emissie in g N/ha/d van de natte percelen (11 en 13) en de droge percelen (2 en 3) in de periode 2006 - 2009 (percelen 3 en 11 2008 - 2009). Links: geclusterd per hydrologie, rechts per perceel.

Effect van drainage op de emissie van lachgas (dataset 1)

Effect van drainage intensiteit

De gemiddelde lachgasflux op de niet - gedraineerde velden bedraagt in de periode 2005 - 2009 53 g N- N₂O /ha/d en op de meest intensief gedraineerde velden 61 g N- N₂O /ha/d. Deze verschillen zijn niet significant. In

tabel 18 staan de gemiddelde jaarlijkse lachgasfluxen per drainage intensiteit weergegeven. Er is geen significant of systematisch verschil tussen de fluxen op de drain en tussen de drains waargenomen.

Tabel 18

*Gemiddelde lachgasfluxen (g N- N₂O /ha/d) op de gedraineerde en niet-gedraineerde velden op de percelen 2,3,11 en 13 op Zegveld in de periode 2006 - 2009. Met een * aangegeven waarden wijken significant (P<0,05) af van de niet-gedraineerde velden.*

Jaar	geen drainage	drainage afstand		
		12	8	4
2006	43	71	63	85*
2007	56	41	43	53
2008	37	37	52*	37
2009	71	27*	74	70
totaal	53	41	61	61

Effect van de afstand tot de drainage

De gemiddelde emissie van lachgas op de drains (periode 2005 - 2009) bedraagt 60 g N₂O/ha/d en 55 g N- N₂O/ha/d tussen de drains. Op de percelen 3, 11 en 13 is de lachgasemissie op de drains systematisch hoger dan tussen de drains, maar niet significant (tabel 19a). In alle jaren (2006 - 2009) is de gemiddelde emissie van lachgas op de drains hoger dan tussen de drains, maar de verschillen zijn niet significant (tabel 19b).

Tabel 19a

Gemiddelde lachgasfluxen (g N- N₂O /ha/d) op de drains en tussen de drains in op de percelen 2, 3, 11 en 13 op Zegveld in de periode 2006 - 2009.

Perceel	op de drains	tussen de drains
2	89	87
3*	36	27
11*	13	8
13*	40	28

Tabel 19b

Gemiddelde lachgasfluxen (g N- N₂O /ha/d) op de drains en tussen de drains in de jaren 2006 - 2009 op Zegveld.

jaar	op de drains	tussen de drains
2006	69	63
2007	48	47
2008	52	46
2009	71	59

Het effect van de afstand tot de sloot op de emissie van lachgas (dataset 1)

De lachgasfluxen aan de randen van de percelen zijn, met uitzondering van perceel 11, significant hoger dan in het midden van het perceel (tabel 20a). De waargenomen verschillen treden, met uitzondering van 2009, in alle jaren (2006 - 2009) op (tabel 20b).

Tabel 20a

Gemiddelde jaarlijkse emissie van lachgas (g N- N₂O /ha/d) op het midden en aan de slootkant in de periode 2006 - 2009 per perceel. Verschillen met * aangegeven wijken significant af van 0 voor P<0,05).

Perceel	slootkant	midden
2*	91	78
3*	42	22
11	11	10
13*	40	29

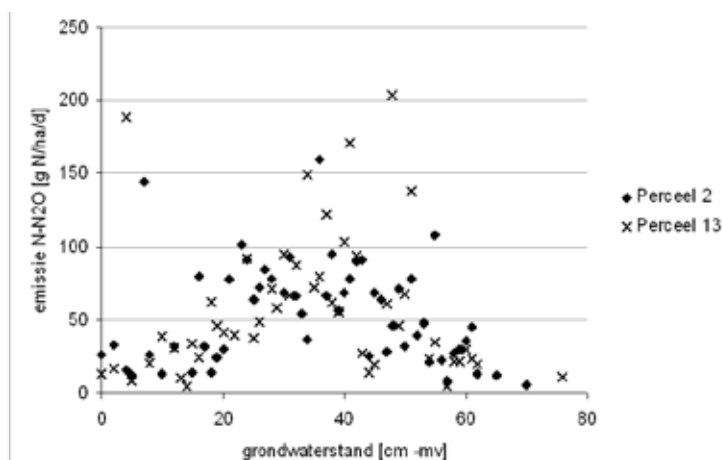
Tabel 20b

Gemiddelde jaarlijkse emissie van lachgas (g N- N₂O /ha/d) op het midden en aan de slootkant per jaar van de percelen 2, 3, 11 en 13. Verschillen met * aangegeven wijken significant af van 0 voor P<0,05).

jaar	slootkant	midden
2006*	70	59
2007*	54	42
2008*	52	37
2009	65	67

Effect van de grondwaterstand op de emissie van lachgas (dataset 1)

In figuur 29 zijn de gemiddelde lachgasemissie op de percelen 2 en 13 uitgezet tegen de grondwaterstand. De emissie van lachgas heeft een relatie met de grondwaterstand, onafhankelijk van het slootpeil. De puntenwolken in figuur 29 geeft een brede spreiding in de grootte van de emissie van lachgas zien bij gelijke grondwaterstand. Er lijkt een optimum te zijn in het op treden van lachgasemissies bij grondwaterstanden tussen 20 en 55 cm -mv.

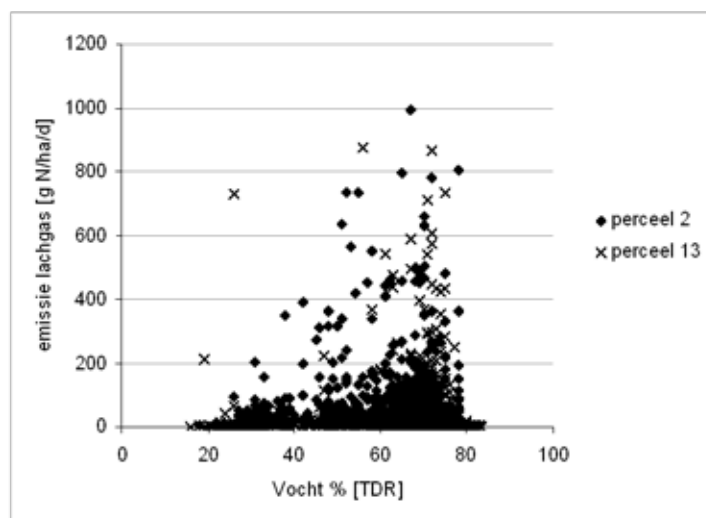
**Figuur 29**

Gemiddelde N-N₂O emissie (g N-N₂O/ha/d) op de percelen 2 en 13 op praktijkbedrijf Zegveld met n>10.

Effect van de vochtigheid van de bovengrond op de lachgasemissie (dataset 1)

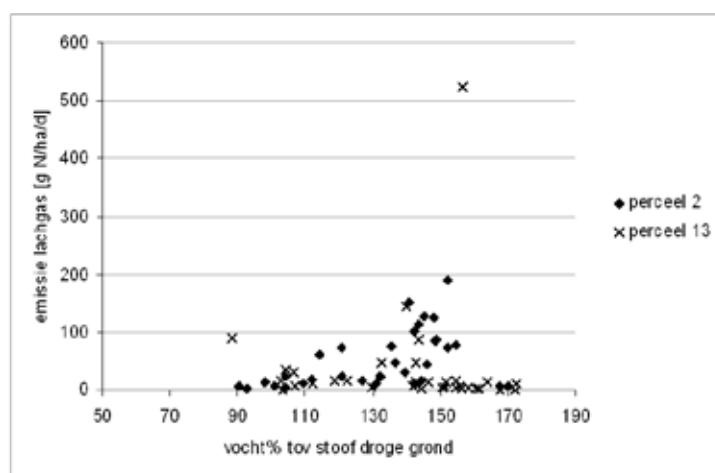
De vochtigheid van de bovengrond heeft een relatie met de grootte van de emissie van lachgas. Op een vochtige bovengrond komen hogere lachgasfluxen voor dan op een droge bovengrond (figuren 30 en 31). In beide figuren is de vochtigheid van de bovenste 20 cm van het bodemprofiel uitgezet tegen de gemiddelde emissie van lachgas. Wanneer de grond natter wordt komen meer en hogere uitschieters in de lachgasemissie voor. De vochtigheid van de bodem heeft een optimum waarbij de emissie van lachgas het grootste is. Bij de

TDR-metingen ligt dat punt net onder de 80 volume-% vocht en bij de gravimetrische vochtbepaling op ca. 155 gewicht-%. Hierbij moet worden opgemerkt dat het aantal waarnemingen met >80% volume-% vocht gering is.



Figuur 30

Relatie tussen de met TDR gemeten vochtigheid van de bovengrond (0-20 cm) en de emissie van lachgas in g N- N_2O /ha/d. op de percelen 2 en 13 van proefboerderij Zegveld in 2005 – 2006.



Figuur 31

Relatie tussen gewichtspercentage vocht (ten opzichte van de stoofdroge grond) en de emissie van lachgas in g N- N_2O /ha/d. op de percelen 2 en 13 van proefboerderij Zegveld in 2007 – 2009.

5.5 Effect van bemesting en beweiden op de emissie van lachgas

Effect van bemesting op de emissie van lachgas (dataset 1 en 2)

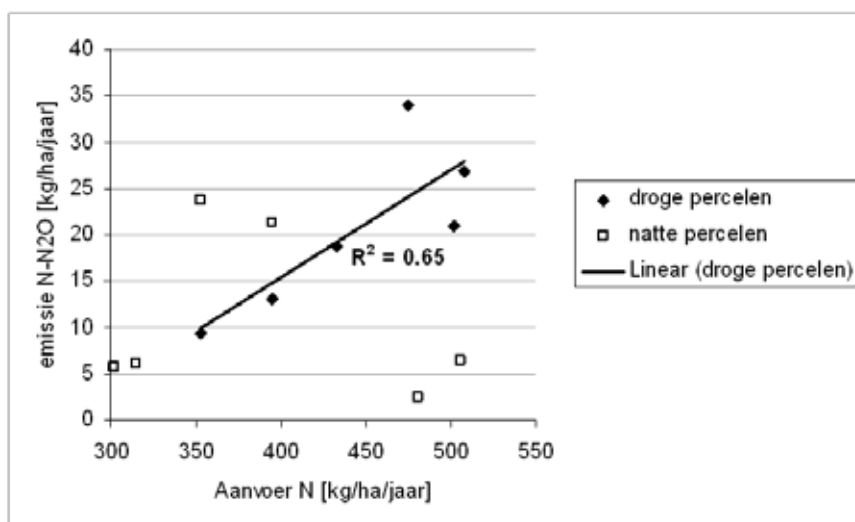
De jaarlijkse N- N₂O emissie als percentage van de totale N-input is gemiddeld 4% en varieert tussen >1% en 7%. In het algemeen is de jaarlijkse emissie als percentage van de totale N-input op de droge percelen hoger dan op de natte percelen, er is echter een grote variatie tussen de jaren (tabel 21). In 2009 is de emissiefactor van perceel 13 vergelijkbaar met de droge percelen.

Tabel 21

Gemiddelde N-N₂O-emissie (kg N-N₂O/ha/jr) als percentage van de totale stikstofgift (kg N/ha/jr) op de vier proefpercelen op het praktijkbedrijf Zegveld in de periode 2006 - 2009. De N-N₂O-emissie is berekend op basis van het kalenderjaar januari – december.

Jaar	Laag slootpeil				Hoog slootpeil				
	Perceel	N ₂ O-N emissie	Total input	N N ₂ O-N/N input	Perceel	N ₂ O-N emissie	Total input	N N ₂ O-N/N input	
2006	2	34	475	0,07	13	6	315	0,02	
2007		19	433	0,04		6	302	0,02	
2008		27	508	0,05		24	353	0,07	
2009		21	502	0,04		21	395	0,05	
2008	3	9	353	0,03	11	2	321	0,01	
2009		13	395	0,02		7	506	0,01	

Het effect van bemesting op de emissie van lachgas wordt weergegeven in figuur 32. De emissie van N- N₂O lijkt sterk te reageren op de hoeveelheid N-bemesting, maar de variatie is erg groot (R² = 0,16). Op de natte percelen is het effect van een mestgift omgekeerd met de emissie van lachgas; bij een hogere gift neemt de emissie van lachgas af. Het effect van een bemesting op de emissie van lachgas is op de natte percelen kleiner (R² = 0,20) dan op de droge percelen (R² = 0,65) (figuur 32). De cumulatieve lachgasemissie op de onbemeste velden varieert van < 1 kg N- N₂O /ha/jaar op de natte velden tot 1 - 7 kg op de droge velden. De emissies op de bemeste velden zijn met respectievelijk 2 - 25 en 7 - 28 kg N₂O /ha/jaar hoger dan op de onbemeste velden (tabel 22). De verschillen zijn significant, maar de variatie is groot.



Figuur 32

Relatie tussen N- additie (kg N-N₂O/ha/jaar) en de emissie van N-N₂O (kg N-N₂O/ha/jaar) op de percelen 2,3, 11 en 13 op het praktijkbedrijf Zegveld in de periode 2005 – 2009.

Tabel 22

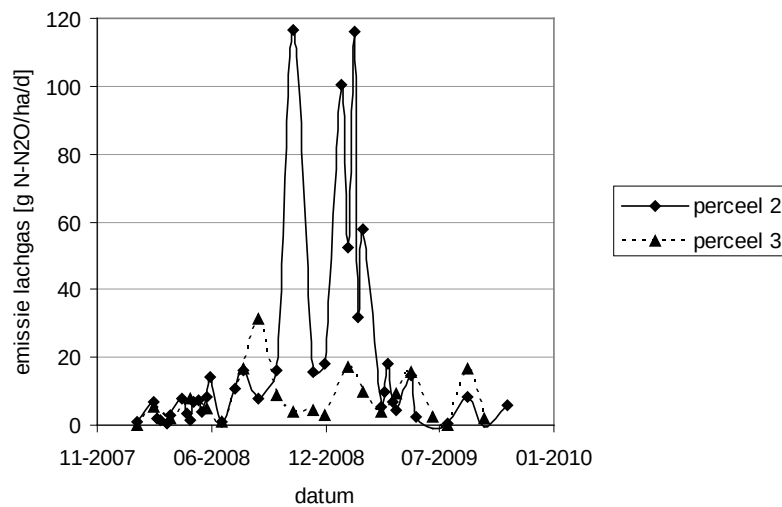
Cumulatieve seizoen- en jaaremissie van lachgas op de proefpercelen met en zonder bemesting op Zegveld in 2008 en 2009.

Perceel	Beheer	Jaar	Zomer (kg N-N ₂ O/jaar)	Winter	Jaar
2 (droog)	Bemest	2008	14,0 ± 9,4	5,9 ± 7,9	18,6 ± 12,9
		2009	5,1 ± 5,2	25,6 ± 14,9	27,5 ± 19,8
	Niet bemest	2008	2,0 ± 0,3	0,08 ± 0,05	6,9 ± 7,6
		2009	0,5 ± 0,4	9,5 ± 7,5	5,2 ± 3,3
3 ¹ (droog)	Bemest	2008	4,8 ± 2,5	2,5 ± 5,2	7,3 ± 6,0
		2009	2,2 ± 1,9	8,9 ± 7,7	11,0 ± 8,2
	Niet bemest	2008	2,1 ± 1,0	0,2 ± 0,08	2,7 ± 0,7
		2009	1,0 ± 0,6	1,2 ± 0,9	1,4 ± 0,7
11 ¹ (nat)	Bemest	2008	2,0 ± 1,7	0,1 ± 0,1	2,2 ± 1,7
		2009	2,3 ± 4,5	1,0 ± 0,4	3,3 ± 4,5
	Niet bemest	2008	0,8 ± 0,3	0,04 ± 0,08	0,8 ± 0,3
		2009	-0,01 ± 0,02	0,2 ± 0,09	0,2 ± 0,3
13 (nat)	Bemest	2008	22,8 ± 30,7	2,0 ± 4,5	24,8 ± 30,5
		2009	5,1 ± 5,9	1,0 ± 0,8	6,1 ± 6,3
	Niet bemest	2008	1,2 ± 0,4	0,05 ± 0,07	1,3 ± 0,4
		2009	0,7 ± 0,3	0,2 ± 0,09	0,9 ± 0,3

¹Vanaf januari

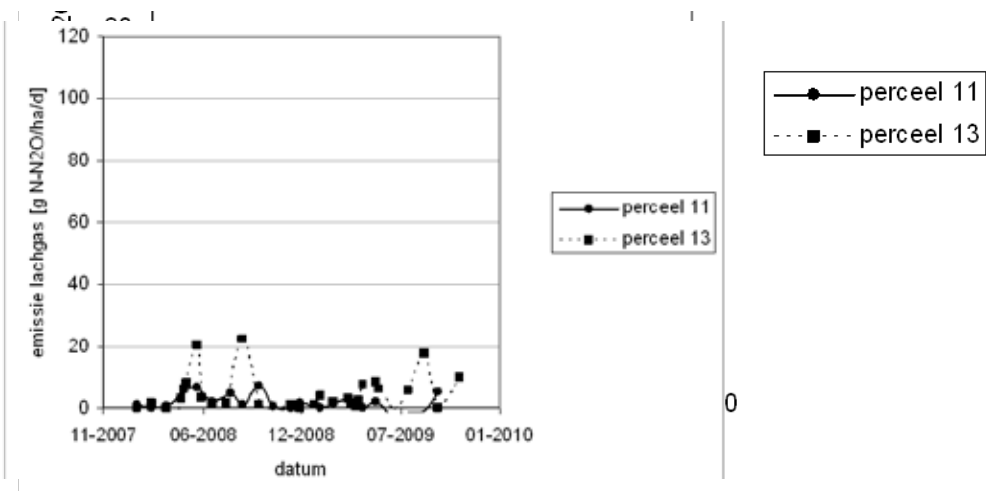
In figuur 33 staat de gemiddelde emissie in de jaren 2008 en 2009 van de onbemeste velden op de percelen 2 en 3 weergegeven, en in figuur 34 van de percelen 11 en 13. Op meer dan 95% van meetdagen is de gemiddelde lachgasflux op de onbemeste velden lager dan op de bemeste velden, maar ook op de velden zonder N-bemesting kunnen de lachgasfluxen aanzienlijk zijn. Het verloop van de lachgasfluxen is vergelijkbaar met die op de bemeste delen van het perceel. Op de droge percelen komen gedurende het hele jaar hoge

fluxen voor, op de natte percelen ontbreken de hoge fluxen in de winter en zijn de fluxen in het geheel lager dan op de droge percelen.



Figuur 33

Verloop van de emissie van lachgas (kg N-N₂O/ha/dag) op de onbemeste velden van de droge percelen 2 en 3 op Zegveld in 2008 en 2009.



Figuur 34

Verloop van de emissie van lachgas (kg N-N₂O/ha/dag) op de onbemeste velden van de natte percelen 11 en 13 op Zegveld in 2008 en 2009.

De onbemeste velden liggen in de sectie met een drainafstand van 12 meter. In tabel 23 zijn de gemiddelde fluxen van de percelen en de gedeelten van de percelen met 12 meter drainafstand weergegeven, evenals de fluxen op de onbemeste velden. Er komen verschillen voor in de gemiddelde lachgasemissie in de sectie met twaalf meter drainafstand en het totale perceel. De verschillen zijn echter niet systematisch en significant. Op

de droge percelen is de emissie van lachgas op het onbemeste gedeelte in het vak met een drainafstand van 12 meter 16 - 35% van de emissie van het bemeste gedeelte. Op de natte percelen is dit 3 - 18%.

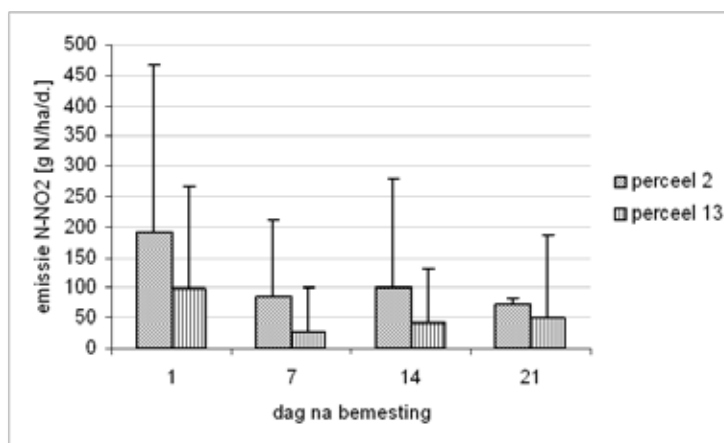
Tabel 23

Gemiddelde lachgasemissie (g N-N₂O/ha/d) op de percelen 2,3,11 en 13 op Zegveld in 2008 en 2009 voor het bemeste deel en onbemeste deel van de sectie met twaalf meter drains en voor het hele perceel. Percentage van de lachgasemissie op de onbemeste velden ten opzichte van het bemeste veld van de sectie met twaalf meter drains.

Bemest perceel	Bemest 12 m drains	Niet bemest		Bemest perceel	Bemest 12 m drains	Niet bemest	
Perceel 2				Perceel 13			
75	75	12	16%	56	60	4	7%
136	94	26	28%	50	38	5	13%
Perceel 3				Perceel 11			
32	28	7	25%	7	11	2	18%
31	23	8	35%	17	37	1	3%

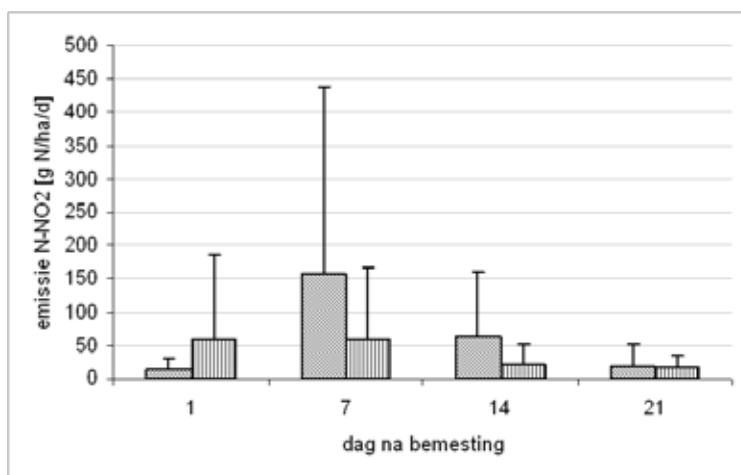
Verloop van de emissie na een bemesting (dataset 2)

In figuur 34 is de gemiddelde emissie van lachgas weergegeven op 1, 7, 14 en 21 dagen na bemesting met runderdrijfmest op de percelen 2 en 13; in figuur 35 dito na bemesting met kunstmest (KAS). De gemiddelde emissie N-N₂O is op de eerste dag na bemesting met rundermest hoger dan op de overige dagen. Er is een afnemende trend in de tijd waarneembaar, maar deze wordt alleen veroorzaakt door een hogere flux op de dag na bemesting. Op perceel 2 is de emissie van lachgas een dag na bemesting met kunstmest lager dan na een week. De trends in de emissie van lachgas als gevolg van een bemesting zijn niet duidelijk te onderscheiden. Dit wordt veroorzaakt doordat de mestgiften in een aantal gevallen elkaar overlappen. Dat wil zeggen dat binnen 21 dagen na de eerste mestgift een volgende hoeveelheid mest is aangewend.



Figuur 35

Verloop van het gemiddelde en standaardafwijking van de emissie N-N₂O (g N/ha/jr) op de percelen 2 en 13 na bemesting met rundermest.

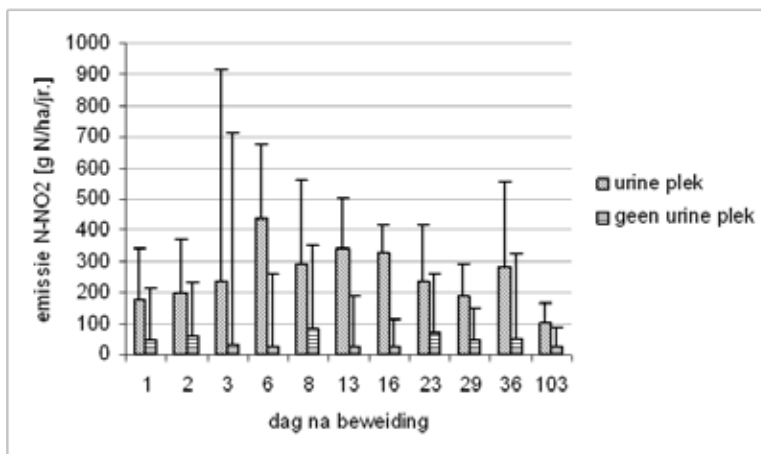


Figuur 36

Verloop van het gemiddelde en standaardafwijking van de emissie N-N₂O (g N/ha/jr) op de percelen 2 en 13 na bemesting met kunstmest (KAS 27% -N).

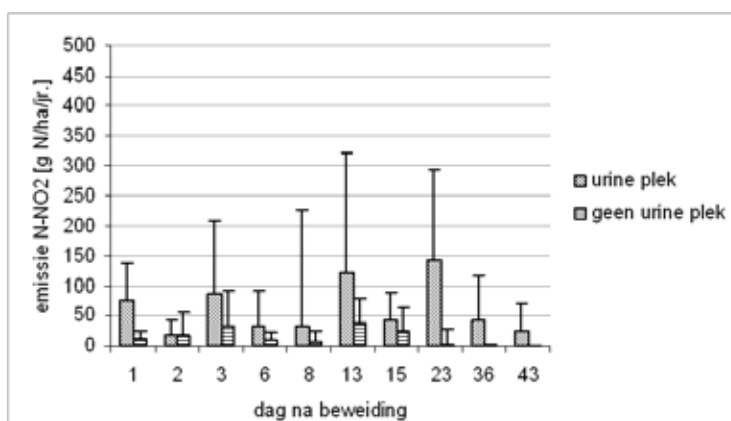
Effect van beweiden op de emissie van lachgas (dataset 3)

In figuur 36 is het verloop van de lachgas-emissie na een beweiding op 26 oktober op perceel 2 en in figuur 37 op 20 oktober 2006 op perceel 13 weergegeven. De lachgasfluxen op de gemarkeerde urineplekken zijn significant hoger dan op één meter vanaf deze plekken. Op perceel 2 zijn de netto emissies op urineplekken hoger dan op perceel 13. De lachgasfluxen op de urineplekken zijn op perceel 13 tot 43 dagen na beweiding systematisch hoger dan op de niet-urineplekken, maar de verschillen zijn niet significant. Op perceel 2 is het effect van een urineplek na meer dan 100 dagen (na de winter) nog steeds significant ($P < 0,02$).



Figuur 37

Gemiddelde en standaardafwijking van de emissie van lachgas na beweiding op gemarkeerde urineplekken en op één meter vanaf deze urineplekken op perceel 2 na beweiding op 26 oktober 2006.



Figuur 38

Gemiddelde en standaard-afwijking van de emissie van lachgas na beweiding op gemarkeerde urineplekken en op één meter vanaf deze urineplekken op perceel 13 na beweiding op 20 oktober 2006.

5.6 'Peak hunting'

Op een aantal dagen zijn op de percelen 2 en 13 pieken in de gemiddelde emissie waargenomen van meer dan 200 g N- N₂O /ha/d (figuur 25). De grote pieken bepalen in grote mate de hoogte van de jaar- gemiddelde flux van een perceel. Zo is van perceel 13 de totale emissie van N- N₂O op 22 augustus ruim 80% van de totale jaaremissie. Hierom is het noodzakelijk inzicht te krijgen in de omstandigheden waarin deze piek-emissies zich voordoen, zodat gericht gemeten kan worden op momenten dat deze pieken zich voordoen (zg. 'peak hunting'). In tabel 24 staan de data waarop op perceel 2 of 13 een piekemissie voordeed van tenminste 200 g N- N₂O /ha/d.

Tabel 24

Gemiddelde, hoogste en laagste lachgasflux op dagen met een gemiddelde flux hoger dan 200 g N-N₂O/ha/dag op de percelen 2 en 13 op praktijkbedrijf Zegveld in de periode oktober 2005 - november 2009.

perceel	datum	omvang g N-N ₂ O/ha/dag	spreiding	vermoedelijke aanleiding
2	27 maart 2006 ¹	450	9-1319	bemesting en weer
2	21 augustus 2006	273	25-2407	weer
13	14 september 2006 ¹	250	18-1134	bemesting en weer
2	25 oktober 2006	206	3-1191	
13	22 augustus 2008	524	15-3371 ^a	
2	6 februari 2009 ¹	441	43-1658	bemesting en vorst
2	30 maart 2009 ¹	241	1-1071	bemesting
2	6 april 2009	257	7-1630	

^a hoogste flux gemeten op een niet-gemarkeerde urineplek, ¹data waarvan binnen zeven dagen een bemesting heeft plaatsgevonden

Op perceel 2 zijn zes dagen waargenomen met een gemiddelde lachgasflux hoger dan 200 g N- N₂O /ha/d en op perceel 13 zijn twee van dergelijke dagen waargenomen (tabel). Opvallend is dat in 2007 op geen enkele

waarnemingsdag een extreem hoge flux is waargenomen. Op 22 augustus 2008 wordt op perceel 13 de hoogste gemiddelde flux gemeten van ruim een halve kilogram N- N₂O /ha/d. met een hotspot van 3,4 kilogram. De uitschieters in fluxen lijken op ieder moment in het jaar te kunnen voorkomen, zonder enige voorkeur voor een bepaald seizoen. Op vier dagen kan de extreem hoge flux gekoppeld worden aan een bemestingsgift, gegeven binnen één week voor de meting. De gemiddelde fluxen op dagen met een bevroren bovengrond. of tijdens dooi na een vorstperiode komen niet in de lijst met extreem hoge fluxen voor,

Extreme flux van 27 maart 2006 op perceel 2

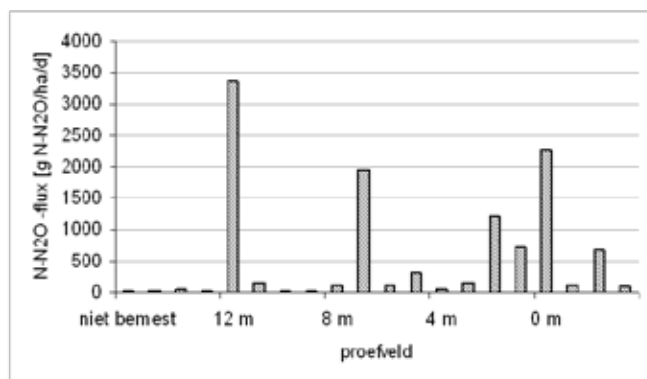
Op 27 maart 2006 vindt na een lange periode van koud en droog weer de overgang naar extreem zacht en nat weer plaats. Op 20 maart 2006 is aan de hand van geelverkleuring van het gras een gebrek aan stikstofopname te constateren, terwijl al een bemesting met runderdrijfmest heeft plaats gevonden. Op 22 maart wordt een kunstmestgift aan het perceel gegeven. Op 27 maart is het gras terug diep groen van kleur en zijn de fluxen extreem hoog.

Extreme fluxen tijdens de zomer en najaar van 2006 op de percelen 2 en 13

Juni en juli 2006 waren zeer droog en uitzonderlijk warm. Augustus was echter koel en extreem nat. De combinatie van extreme droogte, en als gevolg daarvan sterk mineralisatie van het veen, gevolgd door een snelle bevochtiging van het bodemprofiel kan geleid hebben tot de extreme fluxen aan het einde van de augustusmaand op perceel 2. Op perceel 2 zijn in augustus 2006 maaiveld dalingen tot 10 cm waargenomen (Pleijter en Van den Akker, 2009) die naast krimp veroorzaakt kunnen zijn door oxidatie (en mineralisatie) van veen. Na de extreem natte augustus volgde opnieuw een droge en warme periode. Juist nu volgt er op het natte perceel (13) een extreem hoge lachgasflux. Deze hoge flux is het gevolg van de bemesting met rundermest die daags te voren op perceel 13 is opgebracht.

Extreme flux van 22 augustus 2008 op perceel 13

Op 3 juli is het perceel voor het laatst bemest met kunstmest, op 6 augustus wordt voor het laatst beweide. De maanden juli en augustus zijn zeer nat en als gevolg van de vele neerslag staan de grondwaterstanden op perceel 13 aan of nabij het maaiveld. Terwijl in de wintermaanden onder dergelijke omstandigheden de fluxen juist laag zijn, treden nu juist extreem hoge fluxen op; de hoogste fluxen treden op locaties op waar er plasvorming optreedt. De totale lachgasemissie op deze dag draagt voor 75% bij aan de cumulatieve jaarflux van 2008. Op vrijwel alle locaties worden hoge emissies gemeten, variërende van 17 - 3371 g N- N₂O/ha/d. Op het onbemeste veld variëren de emissie tussen 15 en 35 g N-N₂O/ha/d (figuur 38). Op 25% van de locaties wordt een emissie van meer dan 1 kg N-N₂O/ha/d waargenomen. In figuur 38 is te zien dat er een flinke ruimtelijke variatie is in de lachgasfluxen. Er is geen voorkeur van hoge emissies te herkennen naar ligging op het perceel. De emissies op het onbemeste veld zijn lager dan op de bemeste velden (Van Beek et al., 2009).



Figuur 39

N-N₂O-fluxen van perceel 13 op 22 augustus 2008.

Extremes fluxen in het voorjaar van 2009 op perceel 2

In het voorjaar van 2009 worden op perceel 2 op drie dagen extreem hoog gemiddelde lachgasfluxen gemeten. De fluxen van februari en maart kunnen direct worden gekoppeld aan een bemesting, die van april niet. De extreem hoge fluxen op deze dag zijn ook niet te koppelen aan een andere aanleiding.

Lachgasfluxen en een bevroren ondergrond

Tussen 25 december 2008 en 11 januari 2009 treden kort na elkaar twee vorstperiodes op. Nadat op 11 januari definitief de dooi invalt worden op 15 januari op perceel 2 en 13 lachgasfluxen gemeten. Perceel 13 is op dat moment nog bedekt met een laag ijs, dat is ontstaan doordat de vorst is ingevallen op een moment dat delen van perceel 13 onder water stonden. De bovengrond van perceel 13 is verzadigd met water. Op perceel 2 was de bodem, op een ca. 2 cm dun laagje na, tot 10 - 15 cm -mv. bevroren. De gemiddelde flux bedraagt op deze dag op perceel 13 1,7 g N-N₂O /ha/d en op perceel 2 bedraagt ze 174 g N-N₂O /ha/d. Ruim tien dagen later, op 26 januari, zijn opnieuw fluxen gemeten op de percelen 2 en 13, bij een ijsvrije bodem. De gemiddelde fluxen bedroegen toen 3,3 g N-N₂O /ha/d op perceel 13 en 85 g N-N₂O /ha/d op perceel 2. In Nederland zijn lange periodes van vorst zeldzaam. Veel vaker komt het voor dat na een nacht met vorst de bovengrond tijdelijk is bevroren en deze overdag weer ontdooit. In de meetreeks komen zes dagen voor waarbij een meting is uitgevoerd bij een (gedeeltelijk) bevroren bovengrond (tabel). Op perceel 2 zijn de lachgasfluxen op dagen na nachtvorst in bijna alle gevallen hoger dan de gemiddelde jaarflux. Op 6 februari 2009 wordt de hoge lachgasflux gemeten één dag na een bemesting met rundermest. Op perceel 13 zijn de lachgasfluxen op alle deze datums lager dan de gemiddelde jaarlijkse lachgasfluxen op dit perceel.

Tabel 25

Gemiddelde lachgasflux op dagen met nachtvorst op de percelen 2 en 13 op praktijkbedrijf Zegveld in de periode oktober 2005 - november 2009.

Datum	Perceel 2 g N-N ₂ O/ha/dag	Perceel 13
29-11-2005	166	10
26-1-2006	114	7
23-2-2006	65	2
27-2-2006	101	3
19-12-2007	190	12
15-1-2009	154	2
6-2-2009	441	

5.7 Zegveld database

Alle meetgegevens van dit onderzoek zijn vrij toegankelijk op de website www.climatexchange.nl/projects/bsikme1/index.htm (tabblad data). Op deze website staan excel- bestanden met per jaar de gemeten netto-lachgasflux (fluxmeting - achtergrond waarde) zoals in figuur 38 weergegeven. In kolom A staat de datum van de meting weergegeven en in kolom B het tijdstip (lokale tijd). Verder geeft kolom C het locatienummer die refereren aan de plaats waar de metingen hebben plaatsgevonden. De fluxen staan vermeld in de kolommen D (ppb) en E (g N-N₂O/ha/d). De ligging van de ID's binnen de verschillende subplots staat weergegeven in bijlage 4.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
date	time	Plot chamber number	N2O concentration (ppb)	N2O flux (g N-N2O/ha/d)	CH4 concentration (ppb)	CH4 flux (g CH4/ha/d)	CO2 concentration (ppb)	CO2 flux (g CO2/ha/d)	quality class	CO2 flux (g CO2/ha/d)	quality class	CO2 flux (g CO2/ha/d)	quality class	CO2 flux (g CO2/ha/d)	quality class	CO2 flux (g CO2/ha/d)
22-jan-09	10:49	1	644	61.7113												
22-jan-09	11:35	3	575	51.12698												
22-jan-09	12:24	7	24	2.337657												
22-jan-09	13:12	9	14	1.397632												
22-jan-09	14:48	13	16	1.881866												

Figuur 40

Beschikbaar formulier met resultaten van de fluxmetingen.

6 Discussie

Met het afronden van de campagne van lachgasmetingen op melkveeproefbedrijf Zegveld is een grote hoeveelheid meetgegevens beschikbaar gekomen. Deze meetreeks is uniek gezien het grote aantal jaren (vier jaar tussen 2006 en 2009) dat de metingen omvat en de intensiteit van meten zowel in de tijd, als in de ruimte (maximaal 98 metingen op twee percelen á 1,7 tot 1,9 ha per dag). Deze gegevensreeks is dan ook een belangrijke bron voor het leveren van kalibratie- en validatiegegevens voor studies naar de emissie van lachgas op basis van modellen. Daarom zijn de gegevens vrij toegankelijk gemaakt en te benaderen op: www.climatexchange.nl/projects/bsikme1/index.htm

6.1 Data-analyse

Bij het opstellen van het meetplan is een afgewogen keuze gemaakt zoveel mogelijk metingen uit te voeren op een zo groot mogelijke schaal. Hierbij is nadruk gelegd op het uitvoeren van metingen die aansluiten met de dagelijkse (boeren-)praktijk. Het kiezen van een tijdstip van meten zijn voornamelijk bepaald door beheersmaatregelen, zoals beweiden en bemesten, die de boer heeft uitgevoerd. Dit gebeurde in principe op dag 1, 7, 14 en 21 na de maatregel. In enkele gevallen zijn metingen uitgevoerd na aanleiding van weersomstandigheden (bv. veel neerslag). Hiernaast zijn maandelijks metingen op een vast tijdstip uitgevoerd op alle percelen. Bij de analyse van de meetgegevens wordt onderscheid gemaakt in de maandelijks metingen (dataset 1) en de maandelijks metingen plus de metingen na een beheersmaatregel (dataset 2). Daarnaast zijn metingen verricht op urineplekken (dataset 3). Bij het vergelijken van de emissie van lachgas tussen de percelen onderling is gebruik gemaakt van de datasets 1 en 2. Vanaf het voorjaar van 2006 zijn op de percelen 2 en 13 op vaste tijdstippen na een bemesting de lachgas-fluxen gemeten. Het is echter gebleken dat het moeilijk is om met de metingen precies aan te sluiten op de praktijk. De beslissing om op een bepaald moment mest uit te rijden wordt namelijk vaak op de dag zelf pas gemaakt en logistiek is moeilijk de planning hierop aan te passen. Bovendien is een paar maal bij aankomst gebleken dat het perceel nog niet was bemest en gebeurde dit vervolgens op de meetdatum. Dit is van invloed op de statistische verwerking en formulering van de conclusies.

Demiddelde lachgasemissie

De totale emissie van N_2O wordt voor een groot deel behaald uit één of enkele meetmomenten. De berekende jaarlijkse lachgasemissie is daardoor sterk afhankelijk van de gekozen meetmomenten. Gericht meten na een gebeurtenis (zoals bv. bemesting) kan leiden tot overschatting van de jaarlijkse lachgasemissie, terwijl het missen van piekemissies het gevolg heeft dat de jaarlijkse lachgasemissie wordt onderschat. Het precieze moment van optreden van piekemissies is moeilijk te bepalen, maar duidelijk is dat het een wisselwerking is van beheer (bemesting, beweiding, ontwatering en afwatering), weersomstandigheden en fysische en chemische factoren in de bodem. Voor een goede schatting van de gemiddelde emissie van lachgas zou op meerdere plekken en vaker in de tijd de lachgasfluxen gemeten moeten worden. Op basis van de maandelijks metingen is de jaarlijkse emissie van lachgas op het droge perceel ca. 5 kg lager dan wanneer de metingen na bemesting ook worden meegenomen. In 2008 is de gemeten lachgasemissies op het droge perceel echter 3 kg $N-N_2O$ /jaar lager wanneer er ook na bemesting wordt gemeten. Ook op het natte perceel zijn er jaren (2008 en 2009) waarin de gemiddelde lachgasemissie lager is wanneer er de metingen na bemesting worden meegenomen bij de berekening van de gemiddelde jaarlijkse emissie. Een lagere schatting van de lachgasemissie bij het gebruik van metingen na bemesting kunnen worden veroorzaakt doordat het tijdstip van de veronderstelde piekemissie op een ander moment dan het meetmoment kan hebben plaatsgevonden.

Bovendien zijn de maandelijkse metingen verstrengeld met de metingen na bemesting; de maandelijkse metingen kunnen samenvallen met een piekmissie.

Jaarlijkse variatie in de lachgasemissie

Op het droge perceel varieert de gemiddelde jaarlijkse lachgasemissie van 58 (in 2008) tot 111 g N-N₂O/ha/dag (in 2009) en van 25 tot 39 g N-N₂O/ha/dag op het natte perceel. Piekemissies bepalen voor een belangrijk deel (>50%) de jaarlijkse emissie. Variatie in de jaarlijkse emissie kan worden veroorzaakt door het meten van een extra piekmissie in een bepaald jaar. In 2009 worden op het droge perceel drie piekemissies waargenomen, terwijl dit in 2008 niet het geval is. De omstandigheden waaronder piekemissies zijn waargenomen doet vermoeden dat er verschillen bestaan in het aantal piekmissie dat optreedt in verschillende jaren, maar dit onderzoek heeft daar geen zicht op gekregen.

Lachgasconsumptie

De metingen geven een aanwijzing dat er onder bepaalde omstandigheden consumptie van N-N₂O optreedt. Op perceel 13 doen alle situaties met negatieve lachgasfluxen zich in de wintermaanden voor. Op al deze data worden grondwaterstanden aan of nabij het maaiveld waargenomen en komen er op het perceel plassen voor. In deze situatie zal het bodemprofiel helemaal verzadigd zijn. Maar terwijl op een groot aantal locaties binnen een perceel negatieve lachgasfluxen worden gemeten, kunnen er ook locaties zijn waar positieve fluxen optreden. Op 19 januari 2006 wordt op ruim driekwart van de locaties een negatieve lachgasflux gemeten. Op twee locaties wordt echter op deze dag een hoge flux gemeten van respectievelijk 68 en 393 g N-N₂O /ha/d. Grootschalige consumptie van lachgas kan zich dus onder vergelijkbare omstandigheden tegelijk voordoen met hoge lachgasemissies. Opvallend is dat op perceel 11, in tegenstelling met perceel 13, juist in de zomer de belangrijkste dagen met lachgasconsumptie optreden. Er zijn geen aanwijzingen waarom op deze dagen grootschalige consumptie van lachgas op dit perceel optreedt en waarom dit in de wintermaanden achterwege blijft, wanneer het bodemprofiel verzadigd is. Ook de grootschalige consumptie op perceel 2 is niet terug te voeren op de hydrologische omstandigheden, of met het ontbreken van een mestgift. Op het onbemeste veld van perceel 2 treedt op 25 mei 2009 namelijk geen consumptie van lachgas op. Net als op perceel 13 vindt op perceel 2 en 11 gelijktijdig met grootschalige consumptie van lachgas ook een belangrijke emissie plaats.

Invloed van het vochtgehalte van de bodem

In alle jaren dat gemeten is op Zegveld doet zich het verschijnsel voor dat de emissie van lachgas op de droge percelen in het winterseizoen hoger zijn dan in de zomer en dat het beeld op de natte percelen precies andersom is. Drijvende factor zou hier het vochtgehalte van de bovengrond kunnen zijn, waarbij vooral de natte percelen in de winter te nat zijn (volledig verzadigd) waardoor de emissie wordt beperkt, terwijl de hoge vochtigheid, maar niet verzadigd, op de droge percelen een emissie bewerkstelligt. In de zomer neemt de vochtigheid van de bovengrond af en raakt ze op de natte percelen weer onverzadigd, maar blijft vochtig, terwijl de bovengrond op de droge percelen verder uitdroogt en de omstandigheden voor de emissie van lachgas minder gunstig worden. Wanneer de bovengrond verder uitdroogt neemt ook op de natte percelen de emissie van lachgas weer af. In veengrond kan de bovengrond zeer sterk indrogen bij relatief hoge grondwaterstanden.

Invloed van de grondwaterstanden

Er lijkt een optimum te zijn in het op treden van lachgasemissies bij grondwaterstanden tussen 20 en 55 cm -mv. Dit kan echter een vertekend beeld zijn, omdat de grondwaterstanden zich op de percelen gedurende het grootste deel van het jaar tussen 20 en 55 cm -mv. begeven en het aantal datapunten aanmerkelijk groter is in die range. Daarnaast is er bij grondwaterstanden boven de 20 cm -mv. een grote variatie te zien; er zijn gemiddelden die vergelijkbaar zijn met de hoogste waarden in het vermeende optimum. Anderzijds komen in het vermeende optimum weinig lage lachgasfluxen voor. Figuur 26 toont grote gelijkenis met het hypothetisch model van de relatie tussen grondwaterstand en de emissie van lachgas door Velthof (1997).

Invloed van het waterpeil in de sloot

De grondwaterstand wordt beïnvloed door het slootwaterpeil. De mate waarin de grondwaterstand gestuurd wordt door het slootpeil is afhankelijk van de breedte van het perceel, vorm en de bodemkundige (fysische) eigenschappen. Perceel 2 is een smal perceel (ca. 35 m), terwijl perceel 3 een breedte heeft van ca. 50 meter. Perceel 2 heeft een minder komvormige ligging dan perceel 3. Hierdoor kan perceel 3 minder makkelijk afwateren op de sloot en treedt sneller wateroverlast op. Wateroverlast uit zich in plasvorming en doet zich naast de wintermaanden ook voor tijdens de zomer van 2008. Volgens Van den Akker (persoonlijke mededeling) kan ook een negatieve bodemstructuur, die is opgetreden door intensief gebruik, bijdragen aan plasvorming op perceel 3. Daarnaast heeft de aan- of afwezigheid van drainage invloed op het gedrag van de grondwaterstanden ten opzichte van het slootwaterpeil. Al deze effecten hebben een invloed op de emissie van lachgas die de uitstoot kunnen beperken dan wel doen toenemen.

Perceelsvormen

Perceel 2 is duidelijk smaller en minder hol van vorm en komen de grondwaterstanden niet tot aan het maaiveld. Bij grondwaterstanden aan het maaiveld is de emissie van lachgas laag (vaak nul). Doordat de grondwaterstanden tijdelijk aan het maaiveld kunnen komen is de ruimtelijke variabiliteit (verschillen tussenlocaties met grondwaterstand aan maaiveld en standen nog net daaronder) en temporele variabiliteit (sterke afname van de lachgasflux door tijdelijk grondwaterstanden aan het maaiveld) in het midden van de percelen groter dan aan de rand van de percelen. Op de natte percelen komen de grondwaterstanden ook tot aan het maaiveld en ook hier is de variabiliteit hoger dan op de droge percelen. De reden dat er weinig verschil is in variabiliteit tussen slootkant en midden van het perceel op de natte percelen is dat de grondwaterstanden ook aan de slootkant aan het maaiveld komen.

Onbemeste velden

De onbemeste velden zijn in de winter van 2008 ingericht, hetgeen betekent dat deze velden in het najaar nog regulier zijn bemest. Vanaf het begin van 2009 zijn de fluxen op de onbemeste velden duidelijk lager dan op de bemeste velden. Dit zou kunnen komen doordat het onbemeste veld een minder ruimtelijke spreiding heeft dan het bemeste veld dat feitelijk het hele perceel beslaat. Wanneer een willekeurige groep van zes metingen op het bemeste veld wordt vergeleken met de metingen op het onbemeste veld blijkt dat de verschillen tussen bemest en onbemest niet in alle gevallen significant is. Ook hier wordt het gemiddelde sterk bepaald door enkele metingen met een hoge lachgasflux. Opvallend is de gemiddeld hoge emissie in de winter van 2009 op het onbemeste veld van perceel 2. Dit hoge gemiddelde wordt veroorzaakt door één hoge fluxmeting in een fluxkamer op 23 oktober 2008. Ook in januari en februari wordt, op andere locaties, een hoge gemiddelde flux gemeten, maar nu op grotere schaal. Deze afwijkende metingen kunnen veroorzaakt worden door contaminatie van het proefveld met uitwerpselen van koeien, die de zomer van 2008 eenmalig door de afzetting waren gebroken.

Urineplekken

De emissie van lachgas is op urineplekken aanzienlijk hoger dan ernaast. Bovendien is de emissie van lachgas op de urineplekken op het droge perceel na 127 dagen nog significant hoger. Omdat voor het dagelijks beheer de markeringen moesten worden verwijderd is na 127 dagen gestopt met het volgen van de urineplekken. Bij het meten van urineplekken en de referentie op één meter vanaf de urineplek doen in de praktijk nog enkele problemen voor. Ten eerste is onduidelijk of de locatie op één meter vanaf de urineplek geen urinegift heeft gekregen. Het is daarom onjuist te stellen dat de locatie op één meter vanaf de urineplek een 'nieturineplek' is. Ten tweede is niets bekend over de hoeveelheid urine (ureum) die aan de urineplekken is toegediend. Dit is namelijk afhankelijk van de hoeveelheid urine en de mate van verspreiding van de urine over het perceel tijdens het urineren van de koe. Bij veel wind is de verspreiding groot zijn en bij weinig wind klein. Urineplekken zijn zeer moeilijk te lokaliseren in het veld. Soms zijn ze zichtbaar doordat bij hoge concentraties het gras lokaal verbrand, anderzijds komen ze vooral in de herfst tot uiting in pollen donkergroen gekleurd lang gras. Deze

pollen komen echter ook langs flatten voor. Duidelijk is dat urineplekken een grote bijdrage leveren aan de grootte van de emissie van lachgas en de ruimtelijke variabiliteit vergroten (wel urine, niet urine).

Effect van de weersomstandigheden

De weersomstandigheden zijn van invloed op de emissie van lachgas. De weersomstandigheden kunnen ervoor zorgen dat de temperatuur in de grond oploopt of juist achter blijft en dat het bodemprofiel verzadigd raakt met water of juist uitdroogt. Deze omstandigheden hebben weer een effect op het beheer (wel of onbemesten of beweiden), biologische activiteit, en de nutriëntenstroom (opname door het gewas, af- of uitspoeling, e.d.). Uit de meetgegevens blijkt dat temperatuur geen invloed heeft op de hoogte van de emissie van lachgas ongezien zowel in de zomer als winter hoge fluxen worden gemeten. In het voorjaar van 2006 werden hoge emissie verwacht na het bemesten van perceel 2 in het begin van februari. Door het lang aanhoudende winterse weer bleef de emissie van lachgas tot eind maart echter op een laag peil. Pas nadat het zachter werd kwamen de emissies op gang. Dit is een aanwijzing dat de temperatuur toch een rol speelt bij de emissie van lachgas. De andere winters waarin de emissie van lachgas is gemonitord waren echter extreem zacht en misschien is dat de reden waarom de emissies op het droge perceel door konden gaan. Drijvende factor tijdens de periode 2005 - 2009 was echter de grondwaterstand.

Effect van vorst op de emissie van lachgas

In Nederland zijn lange periode van vorst zeldzaam. Vaker komen korte perioden met vorst voor waarbij de vorst ondiep de bodem intrekt. Alleen in zeer strenge winters bevriest de bodem tot grotere diepte (>30 cm - mv.). Vaak treedt er in de Nederlandse winter nachtvorst op waarbij een dunlaagje van de bovengrond bevriest en deze in de loop van de ochtend weer ontdooit. In de dataset zitten een aantal dagen waarbij na nachtvorst de lachgasfluxen zijn gemeten. De gemiddelde fluxen op deze dagen zijn echter onopvallend.

Ruimtelijke en temporele variatie

De ruimtelijke en temporele variatie in de lachgasfluxen is zo groot en onvoorspelbaar dat een precieze schatting van de jaarlijkse lachgasflux moeilijk is te doen op basis van metingen. In de literatuur (Velthof, 1997 en Jacobs et al., 2003) wordt al gewezen op het feit dat bij gebruik van fluxkamers een zeer groot aantal metingen (>1000) per plot nodig zijn om een goede schatting te kunnen doen van de fluxbalans op perceelsniveau. Het grootste deel van de jaarlijkse lachgasemissie wordt bepaald door kortdurende gebeurtenissen. De vraag of wekelijkse of twee wekelijkse metingen voldoende zijn om de jaarlijkse lachgasfluxen goed in beeld te krijgen (Jacobs et al. 2003) kan dan ook negatief worden beantwoord. Lachgas dat in de bodem gevormd wordt, wordt ongelijkmatig in tijd en ruimte geïmiteerd. Over de mate van ophoping van lachgas in de bodem voordat het emitteert is weinig bekend.

Peak hunting

Op de natte percelen 11 en 13 wordt gemiddeld 49% van de jaarlijkse cumulatieve lachgasemissie veroorzaakt door één meting, en op de droge percelen 24%. De piekemissies treden op de percelen tijdens verschillende momenten op. De meetcampagne was er opgericht alle piekemissies te meten en verwacht werd dat hoogste emissie zou optreden na bemesting of beweiding. Een hoge emissie van lachgas bleef echter in een aantal gevallen uit. Op 8 februari 2006 wordt op perceel 2 rundermest uitgereden en op 22 maart wordt kunstmest gestrooid. Het begin van het voorjaar is in 2006 koud en vanaf half maart begint het gras rood te kleuren doordat het dankzij de lage temperatuur, geen nutriënten kan opnemen. De emissie van lachgas blijft laag. Dan verandert het weer abrupt en wordt het zacht en nat. In een nacht kleurt het gras weer groen en op die dag worden extreme lachgasfluxen geregistreerd. Een dergelijk uitstel van lachgasemissie vindt ook plaats na de extreem droge en warme maanden juni en juli 2006. In deze maanden neemt de emissie van lachgas op het droge perceel sterk af en bemesting heeft geen invloed op emissie. In augustus wordt het wisselvallig en valt er veel neerslag. Dan worden er op perceel 2 opnieuw extreem hoge lachgasemissies waargenomen. Waarschijnlijk zijn deze hoge emissies ook veroorzaakt doordat bij de mineralisatie van veen veel stikstof is vrijgekomen en beschikbaar kwam voor de vorming van lachgas. Maar op het natte perceel vinden de hoogste

emissies een maand later plaats, in september wanneer weer een droge periode is aangebroken. Kennelijk zijn de grondwaterstanden in augustus zo sterk gestegen (tot aan het maaiveld) dat de emissie van lachgas hierdoor werd beperkt, maar in september als nog opgang kon komen. Extreme weersomstandigheden hebben dus een invloed op de emissie van lachgas, maar maken het moment waarop de piek in de emissie plaatsvindt moeilijk te voorspellen. In het algemeen treden hoge emissies van lachgas op na bemesting en na perioden van droogte waarop het bodemprofiel weer vochtig wordt. Lage emissie treden op wanneer de grondwaterstand aan het maaiveld staat. Echter, tijdens de natte zomer van 2008 worden op het natte perceel bij grondwaterstanden aan het maaiveld extreem hoge lachgasemissies gemeten en wel juist op de plekken waar plasvorming is opgetreden. Deze dag draagt voor 75% bij aan de totale emissie van lachgas voor 2008. De hoge emissies treden ruim nadat het perceel voor het laatst is bemest (vijf weken) of beweide (twee weken).

6.2 Aanbevelingen

De emissie van lachgas varieert sterk in ruimte en tijd. Het meten van de jaarlijkse emissie van een perceel in kleine mobiele fluxkamers is daardoor moeilijk. Toch kan er een goede schatting gemaakt worden op basis van fluxkamers metingen, als er op een groot aantal locaties verspreid over het perceel wordt gemeten. De in dit rapport beschreven meetplan had o.a. tot doel inzicht te krijgen in de effecten van de onderwaterdrainage op de emissie van lachgas. Het uitgevoerde meetplan is hierop gericht, maar dat maakte de statistische verwerking moeilijk, maar er is wel meer inzicht verkregen in de variatie van de lachgasfluxen op beweidegrasland in het veenweidegebied. Bij het opstellen van een meetplan moet de onderzoeker terdege nagaan voor welk doel de gegevens gebruikt gaan worden.

Kleine gesloten fluxkamers bieden de mogelijkheid om inzicht te verkrijgen in de ruimtelijke variabiliteit van de emissies. Uit dit verslag blijkt echter dat de ruimtelijke variabiliteit van de lachgasemissie zo groot is dat het een praktisch onuitvoerbaar meetplan vergt waarbij heel veel metingen (een veelvoud van de gebruikte 48) op een perceel zouden moeten plaats vinden. Een overweging zou kunnen zijn om op bepaalde plekken op het perceel geclusterd een groot aantal metingen uit te voeren. In de gesloten fluxkamers wordt de emissie van lachgas op een moment gemeten. Om de temporele variabiliteit van de lachgasemissie te bepalen is een methode waarbij de emissies continu worden gemeten geschikter. Dit staat echter het dagelijks gebruik van de landbouwpercelen in de weg en tijdens beweiding of bemesting moeten de metingen worden gestaakt.

Uit de metingen op Zegveld blijkt dat het moeilijk is te voorspellen wanneer hoge emissies van lachgas zullen optreden. De zogenaamde piekemissies zijn een gevolg van een complexe wisselwerking van de toestand van de bodem (voorraad stikstof in de bodem, structuur en textuur van de bodem, vochtgehalte, temperatuur, enz.) en de weersomstandigheden (temperatuur, luchtvochtigheid). Bij het najagen van de hoogste emissie pieken bij gunstig vermeende omstandigheden zal altijd onzeker blijven of de hoogste piek is gemeten en hoe lang deze voortduurt. Bovendien treden er ook pieken op wanneer deze niet verwacht worden. Daarom is het beter om de meetmomenten onafhankelijk van beheer en weersomstandigheden te laten plaatsvinden wanneer de metingen tot doel hebben een schatting te kunnen doen om de gemiddelde jaarlijkse emissie op perceelsniveau.

7 Conclusies

Uit deze studie blijkt dat de gemiddelde jaarlijkse lachgasemissies van beweide veenweidepercelen 29 kg N- N_2O ha/jr bedraagt voor het droge perceel en 11,6 kg N- N_2O ha/jr voor het natte perceel. Er is een sterke positieve relatie tussen grondwaterstand en lachgasemissie. Vooral onder droge omstandigheden leidt de officiële methode voor berekening van lachgasemissies tot een onderschatting van de gemeten emissies. Op onbeweide percelen is de lachgasemissie veel lager (10-20% van de emissie bij beweiding). Ook deze zogenaamde achtergrondemissie is afhankelijk van de ontwatering (grondwaterstand) en moet meegenomen worden in de officiële methoden, die nu uitgaan van een vaste achtergrondemissie. De waargenomen ruimtelijke en temporele variabiliteit was aanzienlijk en ongeveer 20% van de jaarlijkse emissie werd door één meetmoment veroorzaakt. Een vergelijkbare variatie werd gevonden voor de ruimtelijke spreiding, maar hierbij geldt dat die zich uitmiddelt in de tijd (er is dus geen vast ruimtelijk patroon in emissies). Variatie tussen jaren was ook aanzienlijk; tussen de jaren konden cumulatieve emissies met een factor 4,5 verschillen. Ongeveer 75% van de variatie kon verklaard worden door weer, ontwatering en bedrijfsvoering, maar circa 25% van de variatie bleef onverklaard. Hier lijken spontane combinaties van warm vochtig weer en beweiding een rol te spelen.

Er is een tendens naar het verhogen van grondwaterstanden in het westelijk veenweidegebied van Nederland. De resultaten van de metingen op Zegveld tonen aan dat dit zeer waarschijnlijk zal leiden tot een lagere cumulatieve N_2O -emissies, maar een stijging van de temporele en ruimtelijke variabiliteit. Dit laatste maakt het moeilijker om een nauwkeurige schatting van de N_2O -emissie te kunnen maken. Voor een adequate kwantificering van de N_2O -emissies op begraasd grasland op veengrond zal daarom gebruik gemaakt moeten worden van modelschattingen. Om deze modellen goed te kunnen valideren en kalibreren zijn echter uitgebreide data sets, zoals we in Zegveld hebben opgebouwd, noodzakelijk.

De uitstoot van lachgas (N_2O) uit beheerd en begraasd graslanden op veengronden behoren tot de hoogste emissies in de wereld per eenheid van oppervlakte van de landbouwgrond. Volgens de IPCC-methoden is de directe N_2O -emissies uit organische bodems de som van N-ingang afgeleid N_2O -emissies, met inbegrip van urine en mest van grazende koeien, en een constante agro-klimatologische zone afhankelijke achtergrond emissie. Voor het meten van achtergrond-emissie van N_2O zijn op elk perceel onbemeste sub-plots geïnstalleerd. De gemiddelde cumulatieve emissie was gemiddeld 21 ± 2 kg N/ha/jr voor de 'droge' percelen en 14 ± 3 kg N/ha/jr voor de 'natte' percelen. Op de onbemeste sub-plots van de emissie gelijk aan $4 \pm 0,6$ kg N/ha/jr op de 'droge' percelen en 0,7 kg N/ha/jr op de 'natte' percelen. De verschillen tussen de gerepliceerd velden zijn echter groot. Achtergrond waarden zijn nauw verwant aan het grondwater niveau ($R^2 = 0,73$) en goed voor ongeveer 22% van de cumulatieve N_2O -emissie voor de droge percelen en voor ongeveer 10% van de cumulatieve N_2O -emissies uit de natte percelen. De resultaten van deze studie tonen aan dat de nauwkeurigheid van de schatten van de directe emissie van N_2O uit veengronden kan worden verbeterd met ongeveer 20% door het niveau van het grondwater te betrekken bij de achtergrond emissie.

De gemiddelde jaarlijkse emissie van lachgas varieert per jaar van 7 kg N- N_2O /ha op het natte perceel 11 tot 88 kg N- N_2O /ha op het droge perceel 2 (§ 5.1). Op de natte percelen is gemiddeld 16 kg N- N_2O /ha/jaar minder emissie van lachgas opgetreden dan op de droge percelen. Er treden echter uitzonderingen op. Op het droge perceel 3 is (2008 - 2009) ruim 7 kg N- N_2O /ha/jaar minder geïmiteerd dan op het natte perceel 13. Hiervoor is geen verklaring gevonden (§ 5.1). Op de gangbaar beheerde percelen is de emissie van lachgas een factor 3 - 30 hoger dan op de onbemeste velden. Na bemesting neemt de emissie van lachgas op de droge percelen toe (§ 5.5). Op urineplekken zijn de emissies van lachgas groter dan daarbuiten (§ 5.5). De

emissie van lachgas op urineplekken is gedurende een lange periode hoger dan op overige locaties binnen een perceel. Op het droge perceel is na meer dan 100 dagen op urineplekken nog een significant hogere gemiddelde lachgasemissie van meer dan 100 g N- N₂O /ha/jaar waargenomen. Op het natte perceel 13 is het effect van beweiding kleiner dan op het droge perceel, maar ook significant aanwezig. De jaarlijkse gemiddelde lachgasemissie van een perceel varieert van jaar tot jaar met factor 4,5 (§ 5.1). Een duidelijke verklaring van de jaarlijkse variatie is moeilijk te geven, maar duidelijk is dat de weersomstandigheden en momenten van bemesting van invloed zijn op de gemeten fluxen. Op het droge perceel is de emissie in de winter hoger dan in de zomer en op het natte perceel is dat precies andersom (§ 5.1). Er is dus geen duidelijk seizoen afhankelijk patroon gevonden in de emissie van lachgas. De jaarlijkse N₂O -emissie als percentage van de totale N-aanvoer is gemiddeld 4% en is in het algemeen op de droge percelen hoger dan op de natte percelen. De variatie op het natte perceel 13 is veel groter (2 - 7%) dan op het droge perceel 2 (4 - 7%). Op het natte perceel 11 ligt de jaarlijkse emissie van N- N₂O als percentage van de totale N-aanvoer rond 1% en op het droge perceel 3 tussen 2% en 3%. Vernatten van veengronden heeft dus een positief effect op het terugdringen van de emissie van lachgas (§ 5.5). Bovendien treedt in de winter bij een verzadigde bodem consumptie van lachgas op (§ 5.1). Onder bepaalde omstandigheden zijn op meer dan 50% van de locaties per perceel negatieve fluxen van lachgas gemeten. De hoogte van de negatieve fluxen varieert van <0,1 N- N₂O /kg/ha tot >10 kg/ha. Negatieve fluxen komen op de droge percelen weinig voor, terwijl op de natte percelen zich dit geregeld voordoet. Op perceel 11 zijn er vier dagen in de zomer waarop 46-75% van de locaties een negatieve flux hebben. Op perceel 13 zijn er echter vier dagen in de winter waarop 42-77% van de locaties een negatieve flux hebben.

De cumulatieve lachgasemissie op de onbemeste velden varieert van < 1 kg N- N₂O /ha/jaar op de natte velden tot 1 - 7 kg op de droge velden. De emissies op de bemeste velden zijn met respectievelijk 2 - 25 en 7 - 28 kg N- N₂O /ha/jaar hoger dan op de onbemeste velden (§ 5.1 en § 5.2). Bemesting is dus de belangrijkste bron voor de emissie van lachgas uit veengronden. De emissie van lachgas is op de onbemeste velden 75% - 95% lager dan op de bemeste velden. Beheersmaatregelen voor het terugdringen van de emissie van lachgas hebben daarom het grootste effect wanneer deze gericht zijn op het verminderen van het stikstofaanbod. De berekende cumulatieve lachgasemissies zijn op veengronden hoger dan het IPCC-gemiddelde. De cumulatieve lachgasemissie bedraagt op de droge percelen 21 kg N- N₂O /ha en op de natte percelen 12 kg/ha N- N₂O /ha/jaar, terwijl het IPCC een hoeveelheid van 8 kg/ha N- N₂O /jaar rapporteert voor Nederland (Van Beek et al., 2009). De hogere gevonden jaarlijkse cumulatieve emissie wil niet zeggen dat de IPCC schatting te laag is. De variatie in de jaarlijkse cumulatieve lachgasemissies zijn hoog en de metingen betreffen hier veengronden waarvan de lachgasemissies op veengronden 2 - 3 maal hoger zijn dan op zand- en kleigronden (Velthof, Oenema, 1997). De jaarlijkse emissie van lachgas op een gemiddeld melkveebedrijf in Nederland bedraagt volgens Schils et al. (2006) ca. 30 kg N- N₂O /ha/jaar. Deze waarde past bij de hoogste jaarlijkse emissie van lachgas die in de periode 2006 - 2009 op de droge percelen in Zegveld is gemeten.

De ruimtelijke en temporele variabiliteit van de lachgasemissie neemt toe bij bemesting, beweiding en een grotere ontwatering (§ 5.3). Langs de slootkanten is de emissie van lachgas hoger dan in het midden van percelen. Het effect van de ligging ten opzichte van de sloot varieert tussen 1% op perceel 11 tot 48% op perceel 3 (§ 5.4). De hoogste emissie van lachgas treedt op bij grondwaterstanden tussen 20 en 50 cm -mv. (§ 5.4). Als de bovengrond verzadigd is met water is de emissie van lachgas laag, en kan er bovendien consumptie van lachgas optreden. Deze omstandigheden doen zich in de winter op de natte percelen voor. In een situatie waarbij tijdelijk water op het maaiveld staat kunnen er echter juist piekemissies optreden zoals in augustus 2008 op het natte perceel.

Piekemissies bepalen voor een groot deel (tot 80%) de jaarlijkse emissie van lachgas en vaker op de droge (zesmaal) dan op de natte (tweemaal) percelen gemeten. Ze doen zich op de verschillende percelen op verschillende tijdstippen voor (§ 5.6). Op zowel de natte percelen als de droge percelen zijn piekemissies gemeten van gemiddeld meer dan 200 g N- N₂O /ha/dag. Op enkele locaties komen emissies voor van meer

dan 3000 g N- N₂O /ha/dag. Deze piekmissies zijn bepalend voor de hoogte van de gemiddelde lachgasemissie voor een perceel en verklaren de grote ruimtelijke en temporele variabiliteit. Aanleiding voor de piekmissies zijn het aanwenden van mest, vochtige en 'warme' weersomstandigheden of een combinatie daarvan. In een aantal gevallen is echter geen aanleiding gevonden voor de hoge lachgasfluxen.

Uit deze studie blijkt dat een groot deel van de variatie in de lachgasfluxen wordt verklaard door verschillen in het weer, het beheer van de percelen en het grondwaterniveau, maar dat van 25% van de variatie niet kan worden verklaard uit deze factoren. Het is gebleken om de jaarlijkse verschillen in emissie (vereist voor de langetermijn experimenten), temporele variabiliteit en de ruimtelijke variabiliteit voldoende in beeld te brengen en zeer groot aantal fluxmetingen nodig is. Voor een goed beeld van de temporele variabiliteit is een hogere meetfrequentie vereist, terwijl de ruimtelijke variabiliteit meer herhalingen verlangt. Een meetplan die aan deze voorwaarde voldoet is praktisch onuitvoerbaar. Hierom zal voor een goede schatting van de N₂O -emissie veel gebruik gemaakt moeten worden van modellen. De kwaliteit van deze modellen kan sterk worden verbeterd wanneer ze kunnen worden gekalibreerd en gevalideerd op onafhankelijke gegevensreeksen. Metingen van de emissie van lachgas moeten daarom meer gericht zijn op het leveren van gegevens aan modellen dan daadwerkelijk het proberen schatten van de emissie van lachgas uit gronden.

Literatuur

Abdalla, M., M. Jones, P. Ambus en M. Williams, 2010a. Emissions of nitrous oxide from Irish arable soils: effects of tillage and reduced N input. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 86: 53 – 65.

Abdalla, M., M. Jones en M. Williams, 2010b. Simulation of N₂O fluxes from Irish arable soils: effect of climate change and management. *Biology and Fertility of Soils* 46: 247 – 260.

Abdalla, M., M. Wattenbach, P. Smith, P. Ambus, M. Jones en M. Williams, 2009. Application of the DNDC model to predict emissions of N₂O from Irish agriculture, *Geoderma* 151: 327 – 337.

Beek, C.L. van, M. Pleijter, C.M.J. Jacobs, G.L. Velthof, J.W. van Groenigen en P.J. Kuikman, 2010. Emissions of N₂O from fertilized and grazed grassland on organic soil in relation to groundwater level. *Nutrient cycle in Agroecosystems*. Volume 86, no.3: 331 - 340.

Beek C.L. van, M. Pleijter, J.W. van Groenigen, G.L. Velthof en P.J. Kuikman, 2009. Spatial and temporal variability of N₂O emissions from a drained and grazed grassland. Paper presented at the 5th Non-Carbon Greenhouse Gas Conference (NCGG5) in Wageningen. The Netherlands. www.ncgg5.nl.

Beek, C.L. van, M. Pleijter, P.J. Kuikman, Nitrous oxide emissions from fertilized and unfertilized grasslands on peat soil. *Nutrient cycle in Agroecosystems*. Published online.

Beek, C.L. van, M. Pleijter en P.J. Kuikman. The Zegveld database: five years of intensive N₂O measurements disclosed. Submitted to *Nutrient Cycling in Agroecosystems*.

Beheydt, D., P. Boeckx, S. Sleutel, C.S. Li en O. van Cleemput, 2007. Validation of DNDC for 22 long-term N₂O field emission measurements. *Atmos Environ* 41: 6196 - 6211.

Cardenas, L.M., R. Thorman, N. Ashlee, M. Butler, D. Chadwick, B. Chambers, S. Cuttle, N. Donovan, H. Kingston, S. Lane, M.S. Dhanoa en D. Scholefield, 2010. Quantifying annual N₂O emission fluxes from grazed grassland under a range of inorganic fertiliser nitrogen inputs. *Agriculture Ecosystems & Environment* 136: 218 – 226.

Conen, F. K.E. Dobbie en K.A. Smith, 2000. Predicting N₂O emissions from agricultural land through related soil parameters. *Global Change Biology* 6: 417 - 426.

Del Grosso, S.J., W.J. Parton, A.R. Mosier, M.K. Walsh, D.S. Ojima en P.E. Thornton, 2006. DAYCENT national-scale simulations of nitrous oxide emissions from cropped soils in the United States. *Journal of Environmental Quality* 35: 1451 - 1460.

Del Grosso, S.J., A.R. Mosier, W.J. Parton en D.S. Ojima, 2005. DAYCENT model analysis of past and contemporary soil N₂O and net greenhouse gas flux for major crops in the USA. *Soil & Tillage Research* 83: 9 - 24.

Hoek, K.W. van der, M.W. van Schijndel en P.J. Kuikman, 2006. Directe en indirecte lachgas emissies uit de landbouwbodem. 1990 - 2003. Achtergronddocument van de berekeningsmethode voor het Nederlandse National Inventory Report.

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. Alterra-rapport 840.

Kort, E.A., J. Eluszkiewicz, B.B. Stephens, J.B. Miller, C. Gerbig, T. Nehrkorn, B.C. Daube, J.O. Kaplan, S. Houweling en S.C. Wofsy, 2008. Emissions of CH₄ and N₂O over the United States and Canada based on a receptor-oriented modeling framework and COBRA-NA atmospheric observations. *Geophys Res Lett* 35: 5.

Kuikman, P.J., F.J.E. van der Bolt, W.J. Corré, J.G. Kroes, A. van den Pol-van Dasselaar, T.V. Vellinga en G.L. Velthof, 2000. Reductie van lachgasemissie door ontwikkeling van 'best management practices': samenvatting van systeemanalyses in ROB cluster 1. Alterra-rapport 114.

Lilly, A., B.C. Ball, I.P. Taggart en J. DeGroot, 2009. Spatial modelling of nitrous oxide emissions at the national scale using soil, climate and land use information. *Global Change Biology* 15:2321 - 2332.

Mosier A.R., J.M. Duxbury, J.R. Freney, O. Heinemeyer en K. Minami, 1998. Assessing and mitigating N₂O emissions from agricultural soils. *Clim. Change* 40: 7 - 38.

Nol, L., G.B.M. Heuvelink, W. de Vries, J. Kros, E.J. Moors en P.H. Verburg, 2009. Effect of temporal resolution on N₂O emission inventories in Dutch fen meadows. *Glob Biogeochem Cycle* 23: 15.

Pleijter, M. en J.J.H. van den Akker, 2008. Onderwaterdrains in het veenweidegebied; Mogelijkheden van de toepassing van onderwaterdrains en de invloed op de maaiveldaling in het veenweidegebied. Alterra-rapport 1586.

Pleijter, M. en J.J.H. van den Akker; 2010. Onderwaterdrains in het veenweidegebied: Effect op grondwaterstanden en maaiveldalingen; Meetresultaten over de periode 2004 - 2009. Alterra-rapport 1990.

Pol-van Dasselaar, A. van den, en G.L. Velthof, 2001. Minderlachgas uit de melkveehouderij mogelijk. *Praktijkonderzoek Veehouderij februari 2001*: 30 - 31.

Šebek, L.B.J.; R.L.M. Schils, 2006. Verlaging van methaan- en lachgasemissie uit de Nederlandse melkveehouderij. Implementatie van reductiemaatregelen op praktijkbedrijven binnen project Koeien & Kansen. *Animal Sciences Group Rapport* 16.

Smith W.N., Grant B.B., Desjardins R.L., Worth D., Li C., Boles S.H., Huffman E.C. (2010). A tool to link agricultural activity data with the DNDC model to estimate GHG emission factors in Canada, *Agriculture Ecosystems & Environment* 136:301- 309.

Tiedje J., Sexton A., Parkin T., Revsbech N. and Shelton D. 1984. Anaerobic processes in soil. *Plant and Soil* 76: 197 - 212.

Velthof, G.L., J.W. van Groenigen, G. Gebauer, S. Pietrzak, S.C. Jarvis, M. Pinto, W. Corre en O. Oenema, 2000. Temporal stability of spatial patterns of nitrous oxide fluxes from sloping grassland. *Journal of environmental Quality* 29: 1397 - 1407.

Velthof, G.L., M.H. de Haan, G. Holshof, A. van den Pol-van Dasselaar en P.J. Kuikman, 2000. Beperking van lachgasemissie uit bemest grasland; een systeemanalyse. Alterra-rapport 114.1.

Velthof, G.L., M.H. de Haan, R.L.M. Schils, G.J. Monteny, A. van den Pol-van Dasselaar & P.J. Kuikman, 2000. Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden; een systeemanalyse. Alterra-rapport 114.2.

Velthof, G.L., J.G. Koops, J.H. Duyzer en O. Oenema, 1996. Prediction of nitrous oxide fluxes from managed grassland on peat soil using a simple empirical model. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 44: 339 - 356.

Velthof, G.L., A.B. Braber and O. Oenema, 1996. Seasonal variation in nitrous oxide losses from managed grassland in the Netherlands. *Plant and Soil* 181: 263 - 274.

Velthof, G.L., D. Oudendag, H.R. Witzke, W.A.H. Asman, Z. Klimont en O. Oenema, 2009. Integrated Assessment of Nitrogen Losses from Agriculture in EU-27 using MITERRA-EUROPE. *Journal of Environmental Quality* 38:402 - 417.

Wu, L. en M.B. McGechan, 1998. A review of carbon and nitrogen processes in four soil nitrogen dynamics models. *J Agr Eng Res* 69:279 - 305.

Wuebbles, D.J., 2009. Nitrous oxide: no laughing matter. *Science* 326: 56 - 57.

Wrage, N., G.L. Velthof, M. van Beusichem en O. Oenema, 2001. Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. *Soil Biol Biochem* 33:1723 - 1732.

Bijlage 1 Soil inventarisatie Zegveld

Door: Gert Peek

PROFILE DESCRIPTION

The soils are described in pits, following the guidelines of the FAO (1990) and classified internationally according to Driessen et al. (2001).

The Dutch classification is according to De Bakker en Schelling (1989).

The soil colors are determined with the Munsell Soil Color charts (1975).

The temperature regime and moisture regime are described following the Soil Survey Staff (1999).

Groundwater classes are determined according to Ten Cate et al., 1995.

The nomenclature of the parent material is carried out according to Mulder et al (2003).

The humus profile description uses the terminology of Van Delft (2004).

GENERAL INFORMATION

Registration and location

Profile number:	Zegveld
Soil Profile Description Status:	Reference profile description
Date of description:	14 September 2006
Authors:	Ing. G.J.W.C. Peek en drs. L. Nol
Soil Unit:	hVb. Soil map of the Netherlands 1:50.000, sheet 31 west
Location of the pit:	Experimental farm Zegveld (ROC Zegveld), parcel 2, ca. 50 m from the entrance (see map location parcels).
Elevation:	ca. 2 m - N.A.P. (Amsterdam Ordnance Datum)
Map sheet number:	Top. map of the Netherlands 1:50.000, sheet 31 west
Coordinates:	52° 08' N. 4° 48' E

Soil classification

Soil Classification:	Fibric rheic eutric Histosol Koopveengrond
Soil Climate:	Soil temperature regime: mesic
Soil moisture regime:	udic

Landform and topography

Topography:	Flat
Landform:	(Alluvial) plain
Land element:	River basin (embanked)
Position:	Bottom
Slope:	Flat
Micro-topography:	No micro-relief
Soil-landscape sequential relationship:	see soil variability of the site (below)

Land use and vegetation

Land use:	Intensive grazing, dairying
-----------	-----------------------------

Human influence:	Application of artificial fertilizers / manure. Very few mineral additions (fine sand grains). This parcel is part of an experimental well drained area. Distances between drains 4, 8, 12 m. Depth ca. 0,75 m, (below the ground water level).
Aim drainage:	During wet periods and infiltration during dry periods
Vegetation:	No natural or semi natural vegetation
Parent material	
Parent material:	Peat with addition of river clay (clayey peat). Clay content decreases with depth
Effective soil depth:	Moderately deep (ca 55 cm)
Surface characteristics	
Rock outcrops:	None
Surface coarse fragments:	None
Erosion:	None
Surface sealing:	None
Surface cracks:	None
Other surface characteristics:	None
Soil-Water relationships	
Drainage class:	Well drained
Internal drainage:	Saturated for short periods in most years
External drainage:	No run-off
Ditches between parcels:	width ca. 2-3 m, distance ca. 35 m., water level - 60 cm (experiment)
Flooding:	None
Groundwater:	Mean highest groundwater table: ca 35 cm Mean lowest groundwater table: ca 55-60 cm
Ground water class:	IIb Quality: fresh
Moisture conditions:	0 - 57 cm: moist > 57 cm: wet.

SOIL HORIZON DESCRIPTION

H1g 0 - 15 cm:

Clayey peat; 10YR 3/1; very few very fine faint sharply bounded 7,5YR 4/6 Fe-mottles; very fine and fine granular and subangular blocky structure; consistence: friable; few very fine biopores; many very fine and fine roots; very few sand grains as a result of manuring in the past; absence of: rock fragments, cutanic features, cementation / compaction, mineral nodules, recognizable wood and reed remnants, other biological features and carbonates; abrupt and smooth to:

H2 15 - 24 cm:

Clayey peat; 10YR 2/1; weak coarse smooth prismatic structure, subdivided into a weak medium smooth prismatic structure; consistence: friable; very few very fine biopores; common very fine and fine roots; few recognizable wood and reed remnants; absence of: mottling, rock fragments, cutanic features, cementation / compaction, mineral nodules, other biological features and carbonates; clear and wavy to:

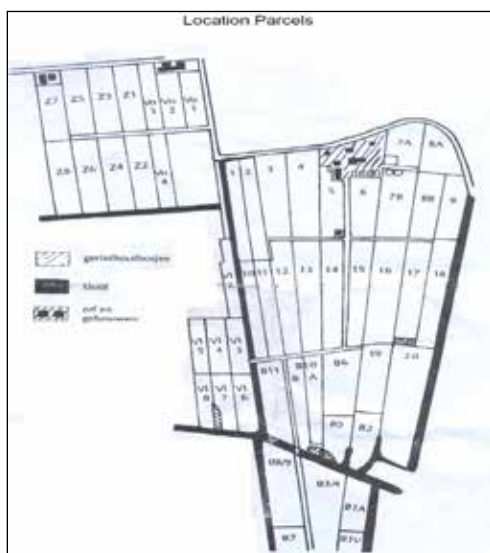
H3 24 - 57 cm:

Clayey peat; 10YR 3/3; weak coarse smooth prismatic structure;

consistence: friable; very few very fine biopores; very few very fine and fine roots; common recognizable wood and reed remnants; absence of: mottling; rock fragments, cutanic features, cementation / compaction, mineral nodules; other biological features and carbonates; clear and smooth to:

H4r > 57 cm:

(Clayey) peat, 7,5YR 3/3; massive structure; consistence: slightly sticky and slightly plastic; many recognizable wood and reed remnants; absence of: mottling; rock fragments, cutanic features, cementation / compaction, mineral nodules; biopores, roots, other biological features and carbonates,



Location parcels Zegveld farm



Aerial picture Zegveld farm (Google earth)



Profile pictures of a well drained Koopveengrond at the Zegveld farm



Difference in colour between reduced the sub soil (brown) and the oxidized upper soil (black). Many wood remnants in the sub soil

HUMUS PROFILE DESCRIPTION

Humus horizons

0 - 24 cm:	Ohg(i)
24 - 57 cm:	Om
> 50 cm:	Ofr

Classification:

Veeneerdmoder (DEn)

SOIL VARIABILITY OF THE SITE

Within parcel 2 the soil variability is observed by augering at several locations spread over the parcel. The only variation with respect to the pit determined is the depth of the H4r horizon. The top of the horizon varies between 55 and 65 cm below the land surface. In general the boundary between the H3 and H4r horizons is clear, sometimes abrupt.

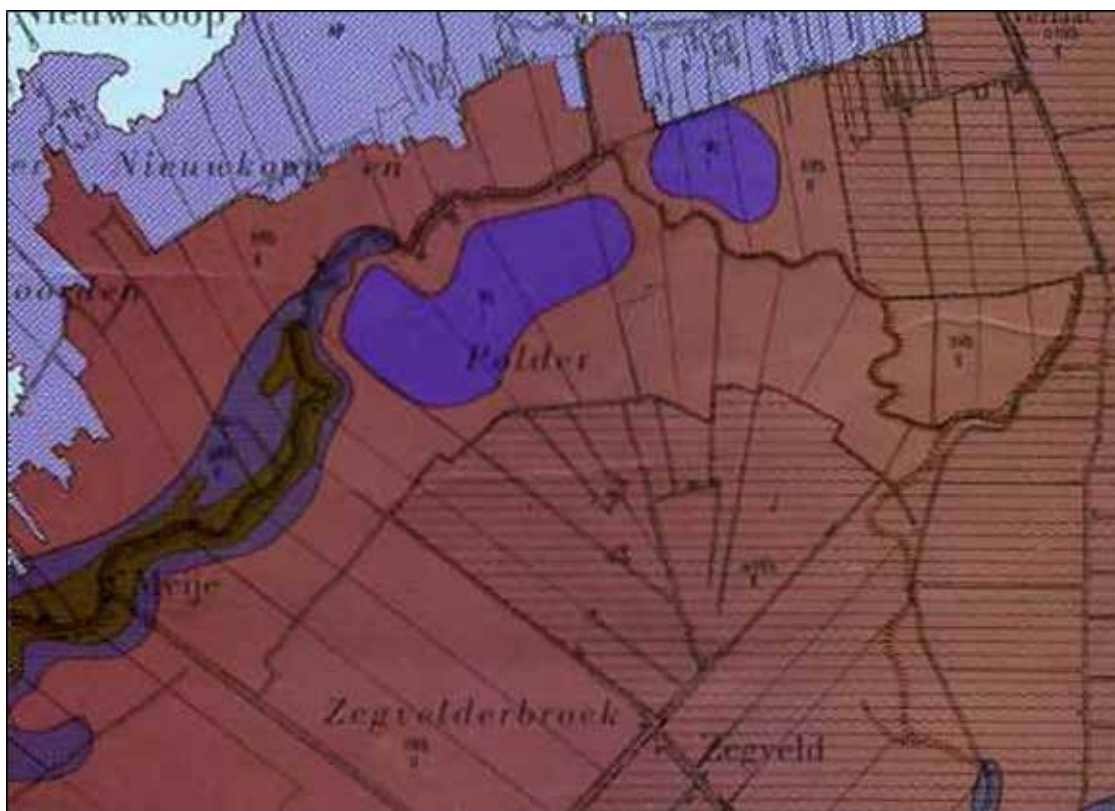
Because of the drainage experiments, parcel 2 is compared with parcel 13 with regard to the soil characteristics (by augering). The ditch water level in this part of the farm area is ca 20 cm below the land surface, resulting in a higher ground water level in general. Also here artificial drainage is applied, distances between drains 4, 8, 12 m (experiments).

Soil characteristics parcel 13 compared with parcel 2:

In the northern part of the parcel (till 30 - 50 m from farm road) the soil characteristics are rather equal to parcel 2. This because of water movement towards the neighbouring well drained area (seepage; information farm manager). To the south gradually:

Drainage class:	very poorly drained.
Internal drainage:	saturated for long periods every year.
External drainage:	ditches between parcels, width 3-4 m. distance between ditches ca. 45 m.
Groundwater:	Mean highest groundwater table: ca. 0-10 cm, mean lowest groundwater table ca. 20-40 cm, Ground water class Ia,
Moisture conditions:	upper soil wet.

Soil horizons:	the top of the H4r horizon in common with parcel 2 is varying between 55-65 cm below the land surface, whereas the mean lowest ground water table is less deep, However, the boundary with the overlying horizon is not clear but diffuse, Peat oxidation in the sub soil may take place more occasionally, for example only in very dry summers.
Soil texture:	the clay content of the upper soil decreases gradually to the back of the parcel, maybe as a result of a decreasing clay sedimentation from the river Meye. The higher clay content in the northern part may be the result of increasing peat oxidation as well (ground water table less high).
Soil structure:	the H1 horizon consists of a fine and medium granular and subangular blocky structure. Compared with parcel 2, soil structure is less fine, probably as a result of decreasing biological activity caused by wetness.
Consistence:	upper soil slightly sticky and slightly plastic.



Legend soil map 1:50.000, sheet 31 west

- 1 pRv 81 : Liedeerdgronden; clay (zware klei) thickness > 40 cm; peat beginning 40-80 cm; non calcareous; ground water class II.
- 2 pVb: Weideveengronden; peat soils with a clay cover (zware klei) (thickness < 40 cm); non calcareous; ground water class II.
- 3 hVb: Koopveengronden; peat soils; upper soil (> 15 cm) clayey peat; non calcareous; ground water class II.
- 4 Vc: Vlierveengronden; peat soils; upper soil (< 10 cm) clayey peat; non calcareous; ground water class II.
- 5 Ap: Peat swamps; former peat exploitation area (petgaten); ground water class I.

LITERATURE

- Bakker, H. de en J. Schelling, 1989. Systeem voor bodemclassificatie in Nederland, de hogere niveau's. Centrum voor Landbouwpublicaties en Documentaties Wageningen. pp 217.
- Cate, J.A.M. ten, A.F. Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek. deel B: Grondwater, Staringcentrum-DLO Wageningen, p B45-B54.
- Delft, B. van, 2004. Veldgids Humusvormen. Beschrijving en classificatie van humusprofielen voor ecologische toepassingen. Alterra Wageningen, pp, 91.
- Driessen, P., J. Weckens, O. Spaargaren en F. Nachtergaele, 2001. Lecture notes on the major soils of the world. FAO Rome, pp. 334.
- FAO, 1990. Guidelines for soil profile description, FAO Rome, pp 70.
- Mulder, de F.J., M.C. Geluk, I. Ritsema, W.E. Westerhoff en T.E. Wong, 2003. De ondergrond van Nederland. NITG-TNO Utrecht, 379 pp.
- Munsell Color, 1975. Munsell Soil Color Charts, Kollmorgen corporation Baltimore.
- Soil Survey Staff, 1999. Soil Taxonomy, USDA Agricultural Handbook nr. 436, pp. 869.
- Stichting voor bodemkartering, 1969. Bodemkaart van Nederland 1:50.000, blad 31 west, Stichting voor bodemkartering, 161 pp.

Bijlage 2 Stikstof bemesting en -opbrengsten

Tabel 1

Gemiddelde hoeveelheid (2005 - 2009) N- bemesting per hectare per jaar uit drijfmest, kunstmest, en beweiding op de percelen 2, 3, 11 en 13.

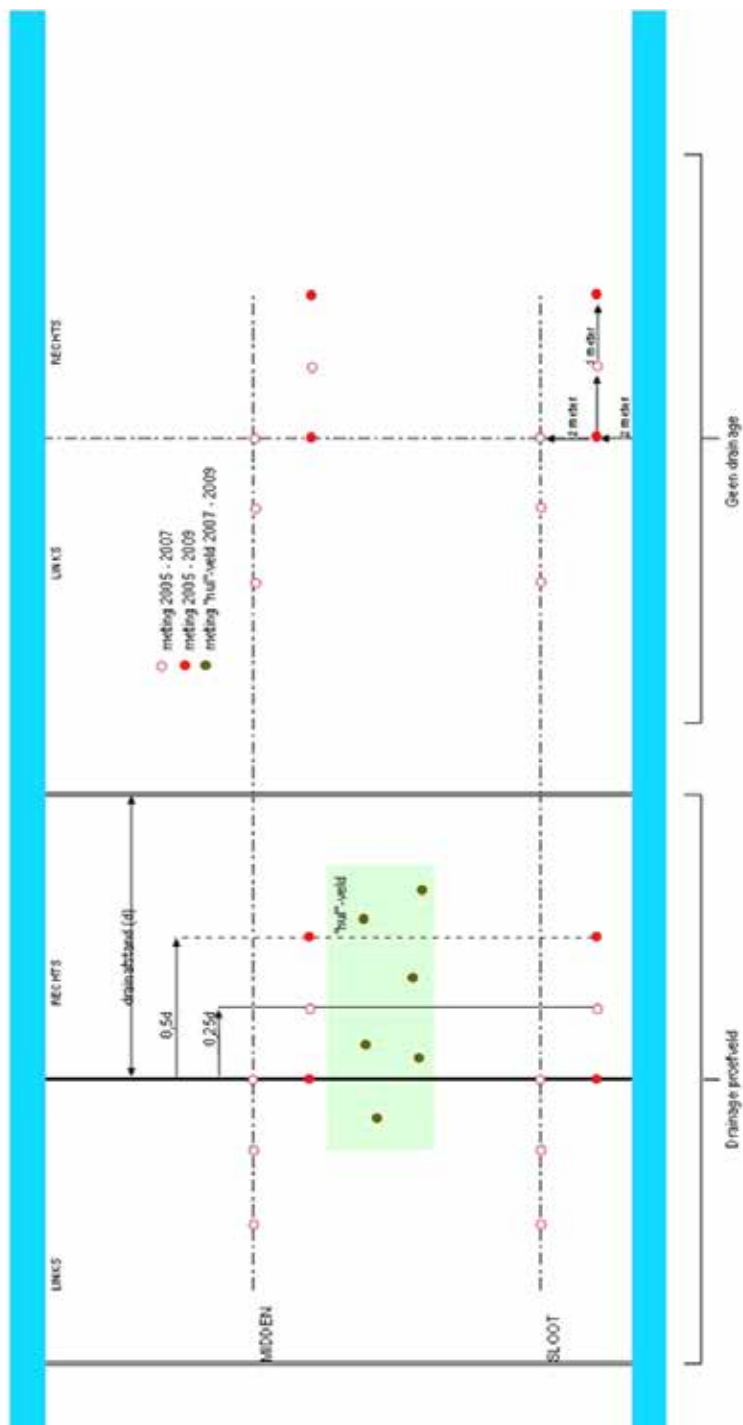
Perceel	Jaar	Kunstmest N (KAS)	Drijfmest	Aantal weidagen	Aantal koeien	Beweiding	Totaal N
		kg N/ha	kg N/ha	(d)	(n)	kg N/ha	kg N/ha
2	2005	95	83	14	49	200	378
	2006	130	61	14	32	285	475
	2007	113	69	10	72	312	433
	2008	86	111	14	39	239	508
	2009	166	101	17	65	235	502
3	2005	149	89	14	60	230	468
	2006	140	38	20	47	224	403
	2007	65	93	6	82	154	312
	2008	86	25	10	58	210	321
	2009	112	49	17	75	396	557
13	2005	149	85	6	61	105	338
	2006	122	60	13	37	133	315
	2007	70	82	6	83	150	302
	2008	86	25	11	74	242	353
	2009	85	49	25	61	238	395
11	2005	122	81	6	50	139	342
	2006	116	61	18	38	240	417
	2007	97	93	31	36	282	473
	2008	113	25	17	50	343	481
	2009	85	94	21	40	327	506

Tabel 2

N-opbrengsten per hectare per jaar uit, droge stof opbrengst per hectare, en aantal dagen waarop de percelen zijn beweide of gemaaid ten behoeve van voederwinning op de percelen 2, 3, 11 en 13.

Perceel	Jaar	Voederwinning		Beweiden		Totale opname	
		kg ds./ha/jr	kg N/ha/jr	kg ds./ha/jr	kg N/ha/jr	kg ds./ha/jr	kg N/ha/jr
2	2005	10120	309	7052	211	17172	520
	2006	5250	160	10015	299	15265	460
	2007	2500	76	8856	265	11356	341
	2008	6000	183	10926	327	16926	510
	2009	6000	183	17647	528	23647	711
3	2005	5593	171	12134	242	17728	412
	2006	7127	217	11836	236	18963	453
	2007	6422	196	8145	162	14566	358
	2008	6000	183	11091	221	17091	404
	2009	6000	183	20875	416	26875	599
13	2005	8769	267	5794	110	14563	378
	2006	5409	165	7317	139	12726	304
	2007	7563	231	8277	158	15840	388
	2008	5250	160	13326	254	18576	414
	2009	2750	84	6605	126	9355	210
11	2005	6757	206	4801	146	11558	353
	2006	5250	160	8294	253	13544	413
	2007	5000	153	9734	297	14734	449
	2008	5250	160	11836	361	17086	521
	2009	2750	84	11273	344	14023	428

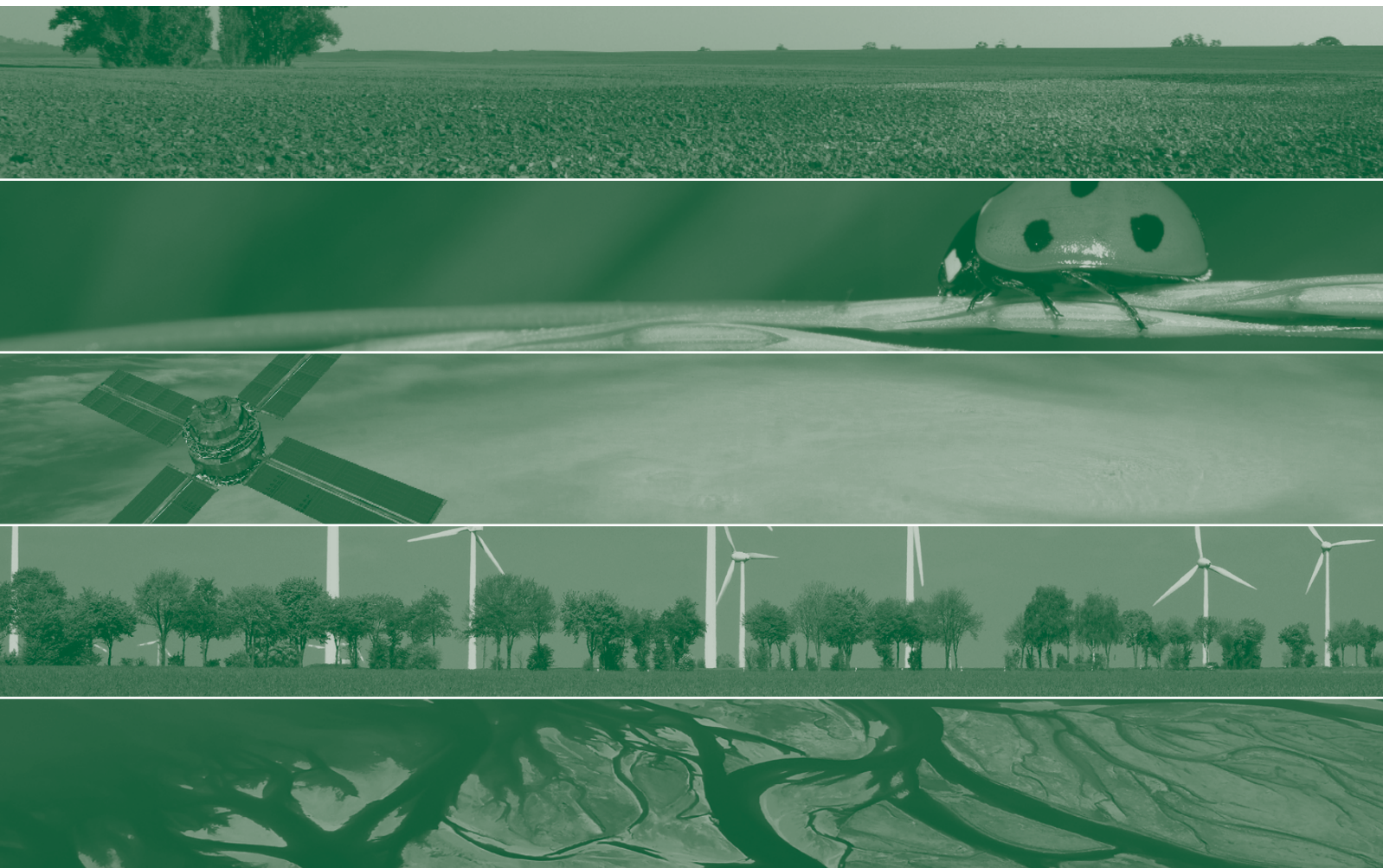
Bijlage 3 Schematische weergave ligging fluxkamers



Bijlage 4 ID en locaties fluxmetingen

Drain		Naast sloot	Midden perceel	Urineplekken*	Nul-bemestingsveld
Perceel 2	ID				
0	1-12	1 - 6	7 - 12		
4	13 - 24	13 - 18	19 - 24		
8	25 - 36	25 - 30	31 - 36		
12	37 - 48	37 - 42	43 - 48		209 - 214
verspreid				111 - 208	
Perceel 3					
0	233 - 236	233 - 234	235 - 236		
4	229 - 232	229 - 230	231 - 232		
8	225 - 228	225 - 226	227 - 228		
12	215 - 218	215 - 216	217 - 218		219 - 224
verspreid					
Perceel 11					
0	237 - 240	237 - 238	239 - 240		
4	255 - 258	255 - 256	257 - 258		
8	251 - 254	251 - 252	253 - 254		
12	241 - 244	241 - 242	243 - 244		245 - 250
verspreid					
Perceel 13					
0	85 - 96	85 - 90	91 - 96		
4	73 - 84	73 - 78	79 - 84		
8	61 - 72	61 - 66	67 - 72		
12	49 - 60	49 - 54	55 - 60		259 - 264
verspreid				97 - 108	

Oneven locaties liggen op de urineplek, even locaties op 1 meter vanaf de urineplek



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.