

Gasvormige emissies uit het melkveebedrijf van de familie Spruit

I. Praktijkmetingen in een ligboxen- en grupstal

J. Mosquera
J.M.G. Hol
J.W.H. Huis in 't Veld
G.J. Monteny

Rapport 564



Gasvormige emissies uit het melkveebedrijf van de familie Spruit

I. Praktijkmetingen in een ligboxen- en grupstal

J. Mosquera
J.M.G. Hol
J.W.H. Huis in 't Veld
G.J. Monteny

Rapport 564

Colophon

Dit project werd uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

Title	Gasvormige emissies uit het melkveebedrijf van de familie Spruit. I. Praktijkmetingen in een ligboxen- en grupstal.
Author(s)	J.Mosquera, J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld, G.J. Monteny
A&F number	Rapport 564
ISBN-number	90-6754-981-9
Date of publication	December 2005
Confidentiality	non
Project code.	630.53099.02

Agrotechnology & Food Innovations B.V.
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 475 024
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© Agrotechnology & Food Innovations B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.

This report is authorised by: N.W.M. Ogink



The quality management system of Agrotechnology & Food Innovations B.V. is certified by SGS International Certification Services EESV according to ISO 9001:2000.

Abstract

This report is part I of a series reporting the gaseous emissions (ammonia, greenhouse gases, odor) from the dairy farm Spruit. Here, gaseous emissions (NH_3 , CH_4 , N_2O , odour) from the barn (1. cubicle housing system; 2. tying stall) are presented. Measurements by using the internal tracer gas ratio method were performed during two periods in 2004 at the cubicle housing system, and during two periods in 2005 at both the cubicle housing system and the tying stall. The annual NH_3 emission from the cubicle housing system was 8.1 kg NH_3 per livestock unit. This is 15% lower than the emission factor assigned to this housing system. Taking into account that the tying stall was empty during approximately 150 days, the annual emission from the tying stall was estimated to be 3.1 kg NH_3 per livestock unit. This is 28% lower than the emission factor assigned to this system. CH_4 emissions from the cubicle housing system ranged between 120 and 780 g day^{-1} per animal, from the tying stall between 760 and 980 g day^{-1} per animal. Regarding N_2O , emissions from the cubicle housing system were in the range 1.0-2.9 g day^{-1} per animal, and from the tying stall between 0.9 and 1.1 g day^{-1} per animal. The average odour emission from the cubicle housing system was 93 $\text{OU}_E \text{ s}^{-1}$ per animal.

Keywords: emissions, ammonia, greenhouse gases, odour, barn

Inhoud

Abstract	3	
1 Inleiding	7	
2 Materiaal en methode	9	
2.1 Bedrijfskenmerken	9	
2.2 Stalemissie metingen: theoretische benadering	11	
2.3 Praktische uitvoering op locatie Spruit	12	
2.3.1 Metingstrategie ligboxenstal	12	
2.3.2 Meetstrategie grupstal	14	
2.3.3 Metingen gasvormige emissies	15	
3 Resultaten	19	
3.1 Bedrijfskenmerken en weersomstandigheden	19	
3.2 Ammoniak	21	
3.3 Broeikasgassen	23	
3.4 Geur	23	
4 Discussie	25	
5 Conclusies	27	
Literatuur	29	
Samenvatting	31	
Bijlagen	33	
Bijlage A	Schema meetopstelling	35
Bijlage D	Principe en kalibratieresultaten NO_x-monitor	43
Bijlage G	Relatieve luchtvochtigheid	51
Bijlage I	Ammoniakemissie	63

1 Inleiding

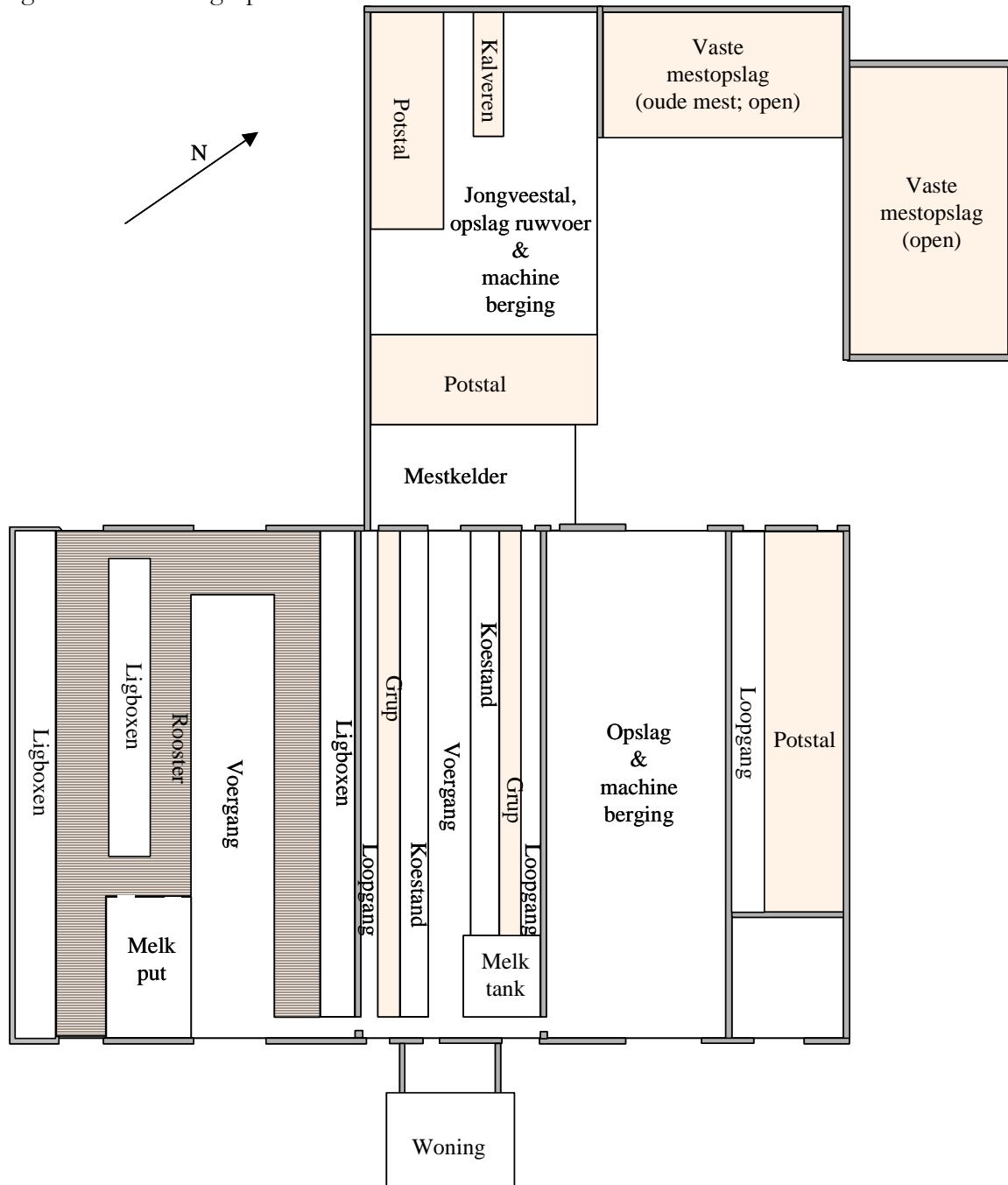
In 2004 zijn verschillende metingen begonnen om de nutriëntenstromen op het melkveebedrijf Spruit (Zegveld) te karakteriseren. Gedurende twee jaar (2004-2005) werden onder andere de microbiologische activiteit van de bodem en enkele fysisch-chemische parameters gemeten; de kwaliteit van de grond- en oppervlaktewater bepaald (totaal N, totaal P; nitraat); gasvormige emissies (ammoniak, broeikasgassen, geur) uit verschillende bronnen (stal, mesttoediening, mestopslag) gemeten; en een integrale schatting van de N-stromen op het bedrijf Spruit uitgevoerd.

Dit rapport is deel I van het project dat door Agrotechnology and Food Innovations werd uitgevoerd om de gasvormige emissies van het melkveehouderijbedrijf van de familie Spruit te meten. Hier worden de emissies uit de ligboxen- en grupstal gepresenteerd. In deel II worden de emissies na het toedienen van mest besproken, en in deel III de emissies uit de (open) mestopslag buiten de stal. Doordat de ligboxen- en grupstal tegen elkaar zijn geplaatst ontstaat een gecompliceerd luchtbewegingspatroon waarbij lucht tussen beide stallen kan worden uitgewisseld. Dit bemoeilijkt het nauwkeurig vaststellen van de stalemissies. In dit rapport wordt daarom uitgebreid aandacht besteed aan de gekozen meetstrategie. Daarnaast worden de resultaten van de metingen gepresenteerd. Dit betreft de emissie van ammoniak, methaan, lachgas en geur.

2 Materiaal en methode

2.1 Bedrijfskenmerken

In figuur 1 worden de verschillende onderdelen (gebouwen) van de melkveebedrijf van de familie Spruit weergegeven. De metingen die in dit rapport worden beschreven zijn uitgevoerd in de ligboxenstal en de grupstal.



Figuur 1 Melkveebedrijf Spruit. De verschillende emitterende oppervlakte (mestopslag die blootgesteld is aan de buitenlucht) zijn lichtbruin gemarkeerd.

Ligboxenstal

In de ligboxenstal (figuur 2A) wordt het melkvee gehuisvest wat ook daadwerkelijk wordt gemolken. De dieren hebben de beschikking over ligboxen en een roostervloer. In totaal zijn 67 ligboxen aanwezig voor gemiddeld 72 dieren. Het roosteroppervlak is 3,3 m² per gemiddeld aanwezig dier. In het midden van de stal is een voergang waarbij 71 plekken aanwezig zijn aan het voerhek. De dieren kunnen zich vrij bewegen in de gehele stal. De verstrekking van ruwvoer vindt aan het voerhek plaats. Krachtvoer wordt aan het voerhek en in de melkput verstrekt. Afhankelijk van de weersomstandigheden en het grasaanbod in de wei wordt tussen mei en oktober weidgang toegepast (ca. 160 dagen). De weidgang van de dieren wordt geleidelijk opgebouwd van enkele uren voor enkele dieren, tot alle dieren uit de stal gedurende de dagperiode tussen de melktijden. De dieren zijn 's nachts (tussen de melktijden) in de stal. De karakteristieken van de bedrijfsvoering voor het melkvee van dit bedrijf, die direct betrekking hebben op de gasvormige emissies, zijn vooral het lage eiwitgehalte in het kuilgras gecombineerd met eiwitarme krachtvoerders, die gevolgen hebben voor de mestsamenstelling, en de efficiëntie van de stikstofbenutting van het voer.

Grupstal

In de grupstal (figuur 2B) worden droogstaand melkvee (gemiddeld 12 stuks) en jongvee vanaf ca. 1 jaar (32 vrouwelijk jongvee en 2 stieren) gehuisvest. Kenmerkend voor de grupstal is dat de dieren op een vaste plek (koestand) worden aangebonden. De mestopvang vindt plaats achter het dier in een ondiepe grup. Alle mest en urine wordt 2 maal per dag uit de grup verwijderd en in de vaste mestopslag buiten de stal opgeslagen. In totaal kunnen 46 dieren worden aangebonden. Het emitterend oppervlak per gemiddeld aanwezig dier is 0,6 m². De dieren krijgen ruwvoer en krachtvoer direct in de voergoot verstrekt. Gedurende de periode tussen juni en oktober (ca. 150 dagen) staan er geen dieren in de grupstal (op 2 jonge stieren na). De dieren zijn dag en nacht buiten. In tegenstelling tot de bedrijfsvoering bij het melkvee zijn de verschillen met de reguliere bedrijfsvoering van jongvee en droogstaande melkkoeien beperkt. Echter, het houderijsysteem met een beperkt emitterend oppervlak per dier zou wel een effect kunnen hebben op de gasvormige emissies.



Figuur 2 Ligboxenstal (A) en grupstal (B)

2.2 Stalemissie metingen: theoretische benadering

Gasvormige emissies uit stallen worden bepaald door het ventilatiedebiet en de concentratie van de gassen in de lucht die de stal verlaat door de uitlaatopeningen, tegelijkertijd gedurende een bepaalde periode te meten. Voor het meten van de concentratie van de verschillende gassen in de uitgaande lucht zijn veel verschillende methoden beschikbaar. Integendeel, de bepaling van het ventilatiedebiet is niet altijd eenvoudig. In mechanisch geventileerde stallen (inlaat- en uitlaatopeningen zijn goed te onderscheiden, en het aantal uitlaatopeningen is meestal vrij beperkt) wordt alle stallucht door ventilatoren afgevoerd. Het ventilatiedebiet kan worden bepaald door meetventilatoren te plaatsen (Beoordelingsrichtlijn, 1996; Mosquera *et al.*, 2002).

Natuurlijk geventileerde stallen hebben een groter aantal inlaat- en uitlaatopeningen, die soms niet te onderscheiden zijn: een opening kan als inlaat of uitlaat functioneren (afhankelijk van de windrichting). Dit maakt het bepalen van het ventilatiedebiet en daarmee de emissie een stuk ingewikkelder. Een mogelijkheid om gasvormige emissies uit natuurlijk geventileerde stallen te bepalen is door gebruik te maken van de interne tracergas ratiomethode (Mosquera *et al.*, 2002). Bij toepassing van deze methode in praktijkstallen wordt de emissie gelijk gesteld aan de gemeten bronsterkte. Hierbij wordt aangenomen dat een tracergas, dat kunstmatig geïnjecteerd wordt in de stal, en het gas waarvan de bronsterkte bepaald moet worden, zich op dezelfde wijze vanaf het bronniveau door de stal verdelen. Er wordt dus geen ventilatiedebiet gemeten maar gebruik gemaakt van een mengverhouding. In dit geval is de verhouding van de bronsterktes van beide gassen af te leiden uit de verhouding van de gemeten concentraties:

$$Q_{gas}^{NTP}(i, j) = \frac{Q_{tracer}^{NTP}(i, j)}{\Delta C_{tracer}(i, j)} * \Delta C_{gas}(i, j) = K_M * \Delta C_{gas}(i, j) \quad (1)$$

waarin:

$Q_{gas}(i, j)$: Bronsterkte van het gas op uur i van dag j (ml/min);

K_M : mengfactor (m^3/min);

$Q_{tracer}(i, j)$: uurgemiddeld tracergas injectie tijdens uur i van dag j (ml/min);

$\Delta C_{gas}(i, j)$: uurgemiddelde concentratieverschil tussen binnen- en buitenlucht concentraties van het gas tijdens uur i van dag j (ppm);

$\Delta C_{tracer}(i, j)$: uurgemiddelde tracergas concentratieverschil tussen binnen- en buitenlucht tijdens uur i van dag j (ppm);

$i = 1 \dots 24$: uur op een dag;

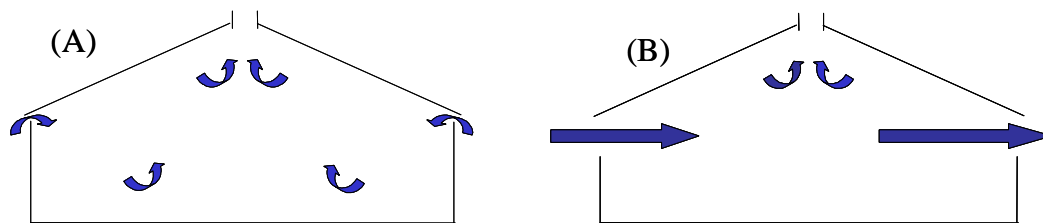
$j = 1 \dots N$: nummer van een meetdag in de meetperiode;

NTP : normaaltemperatuur (273,15 K) en -druk (1013,25 hPa).

Randvoorwaarden voor de interne tracergasratio-methode zijn dat:

1. Een goede menging plaatsvindt tussen het tracergas en een specifieke gas
2. Het tracergas nabij de bron wordt geïnjecteerd
3. Een representatief luchtmonster wordt genomen

ad. 1: Tracergasmetingen zijn in principe bruikbaar voor alle geventileerde ruimten, zolang er een goede menging van de ruimtelucht optreedt. Dit is meestal het geval voor natuurlijk geventileerde stallen met kleine openingen (figuur 3A). Voor zeer open stallen (figuur 3B) kan dit een probleem zijn. De verblijftijd van de lucht in de stal kan zodanig laag zijn (bijvoorbeeld door hoge windsnelheden), dat de lucht in de stal niet goed wordt gemengd. Onder deze omstandigheden kan de interne tracergas ratiomethode niet worden toegepast.



Figuur 3 Schematische weergave van natuurlijk geventileerde stallen met A) kleine inlaatopeningen, en B) grote inlaatopeningen

ad. 2: In de interne tracergas ratiomethode wordt aangenomen dat de verspreiding van zowel het tracergas als het gas dat gemeten moet worden, identiek is. Het is daardoor van groot belang om de bronverdeling voor beide gassen vergelijkbaar te maken. Dit kan worden gerealiseerd door het tracergas dicht bij de bron te injecteren, en door de injectiepunten te verdelen over de emitterende oppervlakte.

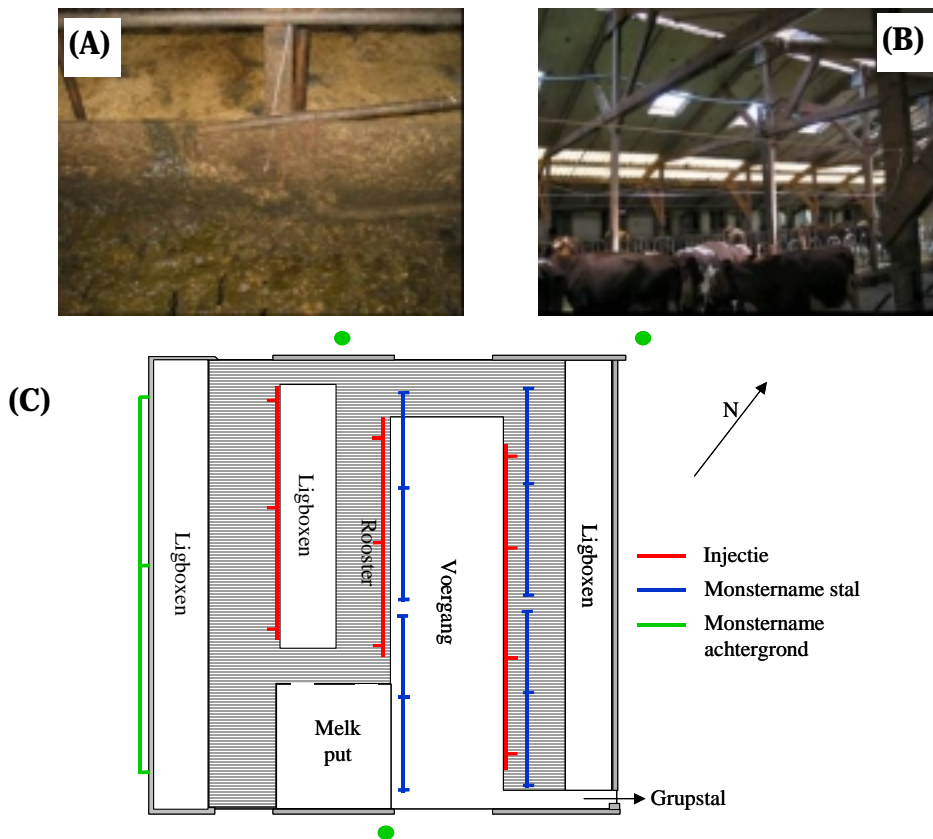
ad. 3: Om een representatief monster van de stallucht te nemen, kan er gekozen worden voor meerdere aparte monsternamenpunten in de stal of voor een verzamelleiding. Aparte in de stal gemeten concentraties worden gemiddeld om de NH_3 -productie te berekenen. Een verzamelleiding op basis van dezelfde meetpunten geeft, mits van ieder meetpunt een gelijke volumestroom wordt bemonsterd, dezelfde gemiddelde concentratie. De afstand tussen de emitterende oppervlakte en de plaats van bemonstering moet zodanig zijn dat de lucht goed gemengd is. Om deze reden wordt meestal gekozen om de stallucht dicht bij de nok (uitlaat) te bemonsteren.

2.3 Praktische uitvoering op locatie Spruit

2.3.1 *Metingstrategie ligboxenstal*

Een belangrijk kenmerk van de ligboxenstal op het melkveebedrijf Spruit is dat meestal geventileerd wordt via de grote deuren aan beide kanten van de stal (figuur 1), en niet of nauwelijks via de kleine inlaatopeningen aan de westelijke kant van de stal. Dit zou kunnen leiden tot een slechte menging in de stal onder specifieke weersomstandigheden (hoge windsnelheden), waardoor de interne tracergas ratiomethode niet zou kunnen worden toegepast. Om dit probleem op te lossen (of te minimaliseren) werden de kleine deuren permanent en de grote deuren gedeeltelijk dicht gedaan, dit alles in overleg met de bedrijfsmanager. Bovendien, om te controleren of deze aanpassingen voldoende waren om aan de randvoorwaarden van de interne tracergas ratiomethode te voldoen, werd de meetopstelling op de volgende wijze toegepast:

1. Drie injectieleidingen werden in de stal geplaatst, dicht bij het emitterend oppervlak (roostervloer; figuren 4A en 4C). Hiermee was het tracergas op alle roostervloergangen aanwezig, alleen het roostervloergedeelte dwars op de voergang was niet voorzien van een injectieleiding. Per injectieleiding, werden een aantal injectiepunten (3 tot 4) gebruikt om het tracergas beter in de stal te verdelen. Dit alles werd gedaan om de brondistributie in de stal goed te kunnen simuleren.
2. Één monsternameleiding werd dicht bij de nok (figuur 4B en 4C) geplaatst. Ter controle werd een tweede monsternameleiding boven de dieren aan de oostelijke kant van de stal (op ongeveer 2m hoogte) geplaatst. Vooraf was onduidelijk in hoeverre in de nok een goede gemengde lucht kon worden verwacht omdat de ventilatie met name dwars door de stal heen werd uitgevoerd. Bovendien kon de monsternameleiding boven de dieren ook de informatie geven over de concentratie die vanuit de ligboxenstal in de grupstal binnen kwam.
3. Beide monsternameleidingen werden in twee stukken gescheiden, omdat vooraf de verwachting was dat door de (in)homogeniteit van de luchtbeweging in de stal mogelijke concentratiegradiënten zouden kunnen worden gemeten. Per (deel)leiding werden 3 monsternamepunten aangebracht (figuur 4C). Na de eerste meetperiode bleek dat er geen sprake was van concentratiegradiënten, zodat de deling werd opgeheven en daarna gemeten werd met 1 monsternameleiding op 2 locaties (nok en boven de dieren)
4. Om de achtergrondconcentratie te registreren werd een monsternameleiding (met 3 monsternamepunten) buiten de stal (aan de westelijke kant) geplaatst, en werden drie extra monsternamepunten (een aan de zuidelijke kant en twee aan de noordelijke kant van de stal) geplaatst (figuur 4C).

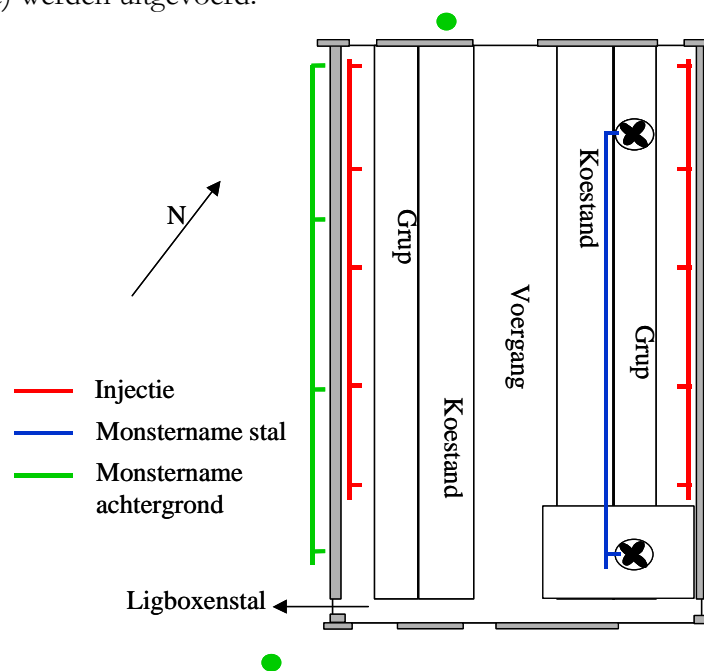


Figuur 4 Injectiepunten dicht bij het emitterend oppervlak (A) en bemonstering van de uitgaande lucht (B) in de ligboxenstal. (C) Schematisch weergave van de meetopstelling voor metingen in de ligboxenstal

2.3.2 Meetstrategie grupstal

De grupstal ligt naast de ligboxenstal, en beide stallen zijn verbonden via raamopeningen in de muur tussen beide stallen, en een deur aan de zuidelijke kant van de stallen. De grupstal wordt (deels)geventileerd via twee ventilatoren (mechanisch geventileerd; totaal maximaal ventilatiedebiet $15.000 \text{ m}^3/\text{uur}$) en natuurlijk geventileerd via de eerder genoemde ramen en de kleine deuren aan de noordelijke en zuidelijke kanten van de stal. Door de lage capaciteit van de twee ventilatoren was de verwachting dat het ventilatiedebiet in de grupstal laag zou zijn. Uit proef 3 en 4 (zie tabel 1 in hoofdstuk 3.1), waarbij de metingen aan de grupstal werden uitgevoerd, bleek echter dat het aandeel natuurlijke ventilatie door de deuren en ramen bij wind uit het zuidoosten tot het noordwesten (deze wind komt altijd via de ligboxenstal in de grupstal) zeer hoge ventilatiedebieten veroorzaakten. Wanneer de emissie bij deze omstandigheden werd berekend blijkt dat de invloed van de ligboxenstal op de metingen groot was. Om een schatting te krijgen van de emissies uit de grupstal (zonder beïnvloeding van de ligboxenstal) zijn de volgende meetopstelling en randvoorwaarden toegepast:

1. Er werden twee tracergas injectieleidingen, aan beide zijden van de stal, in de loopgang achter de grup aangelegd (figuur 5). Bovendien werd de tracergasinjectie in de ligboxenstal uitgezet.
2. De monsternameleiding bij de dieren in de ligboxenstal werd dicht bij de raamopeningen geplaatst, en de gasconcentraties van deze luchtmonsters als ingaande lucht voor de metingen in de grupstal beschouwd (figuur 5).
3. Om de invloed van de ligboxenstal in de metingen bij de grupstal te beperken werd de data in het 120°-300° gebied uitgefilterd voordat de berekeningen (volgens de interne tracergas ratiomethode) werden uitgevoerd.



Figuur 5 Schematisch weergave van de meetopstelling voor metingen in de grupstal

2.3.3 Metingen gasvormige emissies

Alle monsternameleidingen in zowel de ligboxen- als in de grupstal werden verwarmd en geïsoleerd. Voor de metingen werd gebruik gemaakt van een meetshelter waarbij de meetapparatuur onder gecontroleerde omstandigheden kon meten. Dagelijks konden de waarnemingen die werden uitgevoerd met continue meetapparatuur (ammoniakconcentratie en tracergasconcentratie) worden binnengehaald via een telefoonverbinding. Eenmaal per week werd de meetapparatuur voor de continue metingen gecontroleerd en gekalibreerd. Gedurende deze bezoeken werden ook kortlopende metingen (geurconcentratie, concentratie broeikasgassen) uitgevoerd.

Tracergas (SF₆)

Voor de bepaling van de SF₆ concentraties werd gebruik gemaakt van een gaschromatograaf (GC; Fisons Instruments, model 8000), voorzien met een ECD (Electron Capture Detection) detector. De GC-ECD werd wekelijks gekalibreerd met een gecertificeerd ijkgas van SF₆ in N₂

(50,5 ppb; $\pm 2\%$). De resultaten van de kalibraties van de GC zijn vermeld in Bijlage C. De tracergasconcentraties werden gecorrigeerd voor de gaschromatograaf kalibraties.

Ammoniak

De ammoniakconcentratie werd semi-continu gemeten met behulp van een NO_x-monitor (Advanced Pollution Instrumentation Inc., model 200A). Deze methode is door Scholtens (1993) beschreven en een korte omschrijving is in Bijlage D opgenomen. De luchtmonsters voor de tracergasmetingen werden ook voor de bepaling van ammoniakconcentraties gebruikt. Om NH₃ met de NO_x-monitor te kunnen meten moet het eerst door een convertor omgezet worden tot NO. Het gevormde stabiele NO werd met een pomp door polyethyleen slangen naar de monitor gezogen (circa 250 ml/min) en gemeten.

Iedere week werd de monitor gekalibreerd met NO-gas van ca. 10 ppm in stikstof. De resultaten van de kalibraties van de monitor zijn vermeld in Bijlage D. Bij het gebruikte meetprincipe is het signaal van de monitor lineair met de ammoniakconcentratie. De stoffilters in de luchtleiding voor de convertors werden regelmatig vervangen. De convertors werden aan het begin, halverwege en aan het eind van de metingen gekalibreerd. De gemiddelde omzettingspercentages zijn vermeld in Bijlage E.

Geur

Voor het meten van de geurconcentratie werd lucht vanaf een punt (in het midden van de nok van de ligboxenstal, bij de ventilatoren in de grupstal) via de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002) in een geurzak gezogen. Hierbij wordt een lege monsterzak (teflon), die zich in een gesloten vat bevindt, via een slang verbonden met de bron. Door het vat te evacueren wordt de zak gevuld met een monster van de geurbron. Voorafgaand aan de geurmonstername werd het stoffilter (1-2 μm) vervangen. Monstername vond altijd plaats tussen 10:00 en 12:00 uur, waarbij minimaal een uur werd bemonsterd.

De geuranalyses werden uitgevoerd door het geurlaboratorium volgens de voornorm NVN 2820 met wijzigingsblad A1 (NNI, 1995). Het gebruik van het wijzigingsblad houdt in dat gebruik werd gemaakt van het zogenaamde zekerheids criterium bij het vaststellen van de geurdrempel van het geurpaneel, hetgeen een verbetering is ten opzichte van de eerste versie van NVN 2820. Het geurlaboratorium van Agrotechnology & Food Innovations is onder nummer L313 (voorheen K072) geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses. Aan de geuranalyses werd deelgenomen door een groep van 4 tot 6 panelleden in wisselende samenstelling. De gevoeligheid van de panelleden werd voor de metingen getest met butanol. De geurconcentraties en –emissies worden vermeld in resp. OU_E/m³ en OU_E/s. De eenheid 'OU_E' staat hierbij voor 'European Odour Units'. Deze aan de Pre European Norm (PrEN) 'Odours' ontleende terminologie sluit aan bij de internationale literatuur op dit vakgebied.

Broeikasgassen (N_2O en CH_4)

Met behulp van een canister (een verzamelvat van ca. 1 liter) werd in de verschillende meetperioden enkele malen de broeikasgasconcentraties van CO_2 , N_2O en CH_4 bepaald. Hiervoor werd de stallucht gedurende een periode van ca. 24 uur bemonsterd. De canister werd met onderdruk (-2 bar) in de stal geplaatst en via een kritisch capilair (dat een bepaalde, (vast) gecontroleerde luchtstroom toelaat) werd de bemonsteringstijd (24 uur) ingesteld. In het milieulaboratorium van A&F werden de concentraties met een gaschromatograaf gemeten.

3 Resultaten

3.1 Bedrijfskenmerken en weersomstandigheden

Om de gasvormige emissies uit de stal te karakteriseren zijn er metingen gedurende 4 meetperioden uitgevoerd. In tabel 1 staat per meetperiode een korte samenvatting van de bedrijfsvoering weergegeven.

Tabel 1 Meetperioden en bedrijfsvoering melkveehouderij Spruit.

Meetperiode/ Proefnummer	Bezetting ligboxenstal	Bezetting grupstal	Rantsoen ruwvoer in ligboxenstal	Rantsoen ruwvoer in grupstal
1 19 apr–9 mei (2004)	Koeien overdag buiten (ca 50% van de dieren) en 's avonds allemaal binnen	Alle plaatsen bezet (geen metingen)	Overdag weidegang en staldieren vers gras 's avonds onbeperkt hooi en stro	4 maal per dag ingekuuld gras en hooi
2 10-21 sep (2004)	Koeien overdag allemaal buiten en 's avonds allemaal binnen	Stal leeg op 2 jonge stieren na	Overdag weidegang 's avonds onbeperkt hooi en stro	-
3 2-17 feb (2005)	Koeien de gehele dag in de stal	Alle plaatsen bezet	Onbeperkt ingekuuld gras	4 maal per dag ingekuuld gras en hooi
4 7-25 april (2005)	Koeien de gehele dag in de stal	Alle plaatsen bezet	Vers gemaaid gras en klein beetje hooi	4 maal per dag ingekuuld gras en hooi

Bij de keuze van de meetperioden is het doel geweest om zoveel mogelijk verschillende situaties ten aanzien van bedrijfsvoering, management en seizoen in het onderzoek te betrekken. Bij proef 1 was sprake van een overgangperiode (begin weideseizoen). Een deel van het melkvee was tussen 10:00 uur en 18:00 uur in de wei en het andere deel van het melkvee bleef in de stal en kreeg vers gemaaid gras als voeding gedurende de dag. Het overige deel van de dag kreeg de complete kudde onbeperkt hooi en stro aangeboden. Echter doordat de dieren nog niet zo lang in de wei liepen was de opname van het smakelijke voorjaarsweidegras groot en de trek in en opname van hooi en stro zeer beperkt.

Proef 2 lag midden in het weideseizoen, dat loopt van medio april tot eind oktober. Een kenmerk van de nazomer beweidingsperiode is de hogere gehalten stikstof in het gras. Over het algemeen is het effect hiervan terug te vinden in hogere ureumgehalten in de tankmelk (tabel 2). Deze gehalten geven inzicht in de efficiëntie van het gebruik van stikstof dat wordt aangeboden in de voeding (hoge gehalten geven aan dat het stikstof minder efficiënt wordt gebruikt en de

ongebruikte afvoer hoger is). Het aangeboden hooi en stro werd in deze periode goed opgenomen. De dieren uit de grupstal liepen dag en nacht buiten.

Proef 3 lag midden in de stalperiode die loopt van november tot eind april. In deze periode bestond het rantsoen uit onbeperkt ingekuild gras (voorjaarskuil) en hooi naar behoefte. Daarnaast werd bierborstel, pulp en krachtvoer verstrekt. In deze periode was het stikstofaanbod laag (laag N-gehalte in het ruwvoer en eiwitarme bijvoeders) waardoor de ureumgehalten in de tankmelk laag zijn (tabel 2). De dieren in de grupstal kregen ingekuild gras (zomerkuil) en stro, het jongvee bierborstel verstrekt, de droge koeien een kleine hoeveelheid krachtvoer.

Proef 4 lag aan het einde van de stalperiode. Gedurende de metingen werd gestart met voeren van vers gemaaid gras. Daarnaast kregen de dieren ook nog ingekuild gras en hooi, bierborstel, pulp en krachtvoer verstrekt. De dieren in de grupstal kregen naast ingekuild gras, hooi en stro ook een kleine hoeveelheid krachtvoer.

In tabel 2 worden ook klimaatparameters (binnen- en buitentemperatuur, ventilatiedebiet) gegeven. In bijlagen F en G zijn de daggemiddelden van de temperatuur en van de relatieve luchtvochtigheid van de stallucht en van de buitenlucht in een grafiek uitgezet, voor zowel de ligboxen- als voor de grupstal. In bijlage H zijn de uurgemiddelden van het ventilatiedebiet, in zowel de ligboxen- als de grupstal, voor alle meetperioden grafisch weergegeven.

Tabel 2 Meetomstandigheden gedurende alle meetperioden

	Proef 1 Mei '04 ligbox	Proef 2 September '04 ligbox	Proef 3 Februari '05 ligbox	Proef 3 Februari '05 grup	Proef 4 April '05 ligbox	Proef 4 April '05 Grup
Aantal aanwezige dieren	71	71	73	45 ¹⁾	72	45 ¹⁾
Ureum in tankmelk (mg/100g)	13	22	13	-	19	-
Samenstelling urine						
N _{totaal} (g/l)	4,4	6,9	7,8	8,6	5,7	5,1
Ureum-N (g/l)	2,1	4,1	6,2	6,7	3,4	3,7
pH	8,5	8,6	8,5	8,4	8,5	8,7
Samenstelling stalmest						
N _{totaal} (g/kg)	-	3,5	3,9	6,9	3,7	5,7
NH ₄ (g/kg)	-	1,4	1,6	1,4	1,5	0,8
pH	-	6,6	6,8	8,7	6,7	7,5
Buientemperatuur (°C)	14	15	4	4	10	10
Binnentemperatuur (°C)	16	17	8	11	13	15
Debiet (m ³ /uur per NGE)	1096	792	717	558	568	653

¹⁾ Volgens Tamminga *et al.* (2000) 29,3 NGE (Nederlandse grootte-eenheden)

3.2 Ammoniak

Tabel 3 geeft, per proef, de resultaten van de continue emissiemetingen voor NH₃ (zie ook bijlage I en J voor de uurgemiddelden van de concentraties en emissies in zowel de ligboxen- als in de grupstal). In de Regeling Ammoniak en Veehouderij (RAV) is de ammoniakemissie voor een traditionele ligboxenstal inclusief weidegang (code A.1.6.1) vastgesteld op 9,5 kg NH₃ per dier per jaar (Infomil, 2004). Binnen de RAV is ook een emissiefactor voor een grupstal voor melkvee opgenomen (code A1.1), deze is vastgesteld op 4,3 kg NH₃ per dier per stalperiode van 190 dagen. Voor vrouwelijk jongvee tot 2 jaar is binnen de RAV een emissiefactor van 3,9 kg vastgesteld ongeacht het stalsysteem.

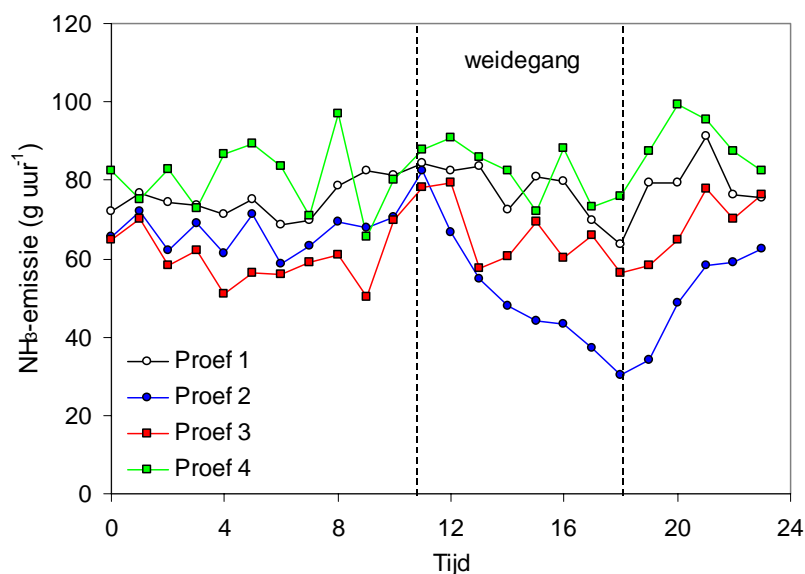
Tabel 3 NH₃ concentraties en emissies

	Proef 1	Proef 2	Proef 3		Proef 4	
	mei '04	september '04	februari '05		april '05	
	ligboxenstal	ligboxenstal	ligboxenstal	grupstal	ligboxenstal	grupstal
NH ₃ concentratie stal (ppm)	2,1	1,9	2,2	7,2	3,2	6,7
NH ₃ emissie (g/uur)	76,7	58,3	64,0	25,9	82,7	28,4
NH ₃ emissie (g/dag per NGE)	25,9	20,0	21,0	21,0	27,2	23,0
NH ₃ emissie (kg/jaar per NGE)	9,5	7,3	7,7	4,5 ¹⁾	9,9	4,9 ¹⁾
NH ₃ emissie (kg/jaar per dier)	9,5	7,3	7,7	2,9 ¹⁾	9,9	3,2 ¹⁾

¹⁾ op basis van 215 staldagen en 150 dagen leegstand

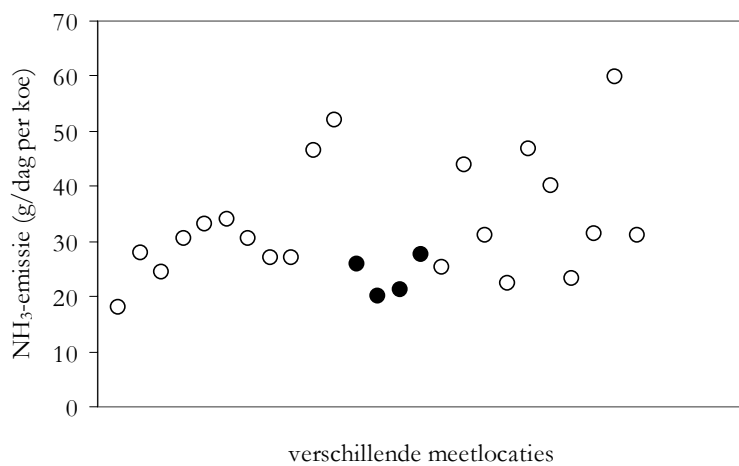
Op basis van de 4 proeven kan een gewogen gemiddelde jaaremmissie voor melkvee worden berekend. Bij de melkkoeien wordt het jaar opgedeeld in een stalperiode (alle dieren in de stal overwegende ingekuuld gras als rantsoen), een weideperiode (alle dieren lopen overdag buiten en 's avonds binnen), en een overgangperiode (overgang van stal naar weide en van weide naar stal waarbij het rantsoen voor een deel uit vers gemaaid gras bestaat). Hiermee komt de gemiddelde emissie op: (proef 3 * 5 maanden)+(proef 2 * 4 maanden)+(gemiddelde proef 1 en 4 * 3 maanden)/12 maanden = 8,1 kg/jaar per NGE. Voor de grupstal kan worden volstaan met een gemiddelde van beide proeven = 3,1 kg/jaar per dier (uitgaande van 215 staldagen). Deze beide waarden zijn lager (respectievelijk 15% en 28%) dan de RAV-waarden.

Figuur 6 geeft het dagpatroon van de emissie per proef weer. In proef 3 en 4 waren alle dieren de volledige dag in de stal. In proef 1 was er weidegang voor een deel van de dieren en in proef 2 was er voor alle dieren uit de stal weidegang. De weidegang lag tussen 11:00 uur en 18:00 uur. De figuur laat voor proef 1, 3 en 4 een gelijkmatige emissie gedurende de gehele dag zien, waarbij het niveau van proef 3 (stalperiode met ingekuuld gras) het laagste was. Opvallend is het verloop van de emissie in proef 2. De emissie neemt gedurende de weideperiode duidelijk af. De verklaring hiervoor moet worden gezocht in het opdrogen van de roostervloer, waardoor een deel van de emissiebron (de emissie uit de mestkelder blijft onveranderd) vermindert. In proef 1, waarbij ook sprake is van weidegang, gaat deze verklaring niet op omdat een deel van de dieren in de stal achterbleef, zodat deze de roostervloer bleven bevullen.



Figuur 6 Dagpatroon NH₃-emissie voor alle meetperioden.

In Figuur 7 wordt de NH₃-emissie uit de ligboxenstal van de 4 proeven vergeleken met emissiemetingen op verschillende praktijkbedrijven. Hiervoor is gebruik gemaakt van zoveel mogelijk locaties waar metingen bij melkvee met dezelfde meetmethode zijn uitgevoerd. In de gepresenteerde dataset zijn naast traditionele ligboxenstallen (betonnen roostervloer) ook een ligboxenstal met sleufvloer en een potstal opgenomen. Uit figuur 7 blijkt dat de resultaten van het onderhavige onderzoek onder in de puntenwolk zitten.



Figuur 7 De NH₃-emissie voor verschillende melkveestallen, de zwarte bollen staan voor de resultaten van het huidige onderzoek. De overige bollen zijn resultaten uit het Koeien&Kansen onderzoek (Huis in 't Veld *et al.*, 2003), en stalmeetploeg (Scholtens en Huis in 't Veld, 1997; Huis in 't Veld en Scholtens, 1998; Huis in 't Veld *et al.*, 2001; Mosquera *et al.* 2005).

3.3 Broeikasgassen

De emissie van de broeikasgassen CH₄, N₂O en CO₂ werd bepaald door middel van cumulatieve metingen (monsternamen gedurende 24 uur). In tabel 4 worden de resultaten weergegeven. De resultaten zijn gebaseerd op enkele metingen, namelijk de gemiddelde van 4 meetperiodes van 1 dag in proef 1, de gemiddelde van 2 meetperiodes van 1 dag in proef 2, en 1 meetperiode van 1 dag (zowel voor de ligboxen- als voor de grupstal) voor proeven 3-4. Voor de berekening van de emissie is gebruik gemaakt van het gemiddelde ventilatiedebiet gedurende de verschillende meetperiodes (bepaald op dezelfde wijze als voor de NH₃-emissiemetingen).

Tabel 4 Methaan, lachgas en kooldioxide concentraties en emissies

	Proef 1	Proef 2	Proef 3		Proef 4	
	Mei '04	September '04	Februari '05		April '05	
	ligboxenstal	ligboxenstal	ligboxenstal	grupstal	ligboxenstal	grupstal
CH ₄ concentratie stal (ppm)	32,9	12,1	63,7	98,7	76,5	101
CH ₄ emissie stal (kg dag ⁻¹ per dier)	0,52	0,12	0,73	0,98	0,78	0,76
N ₂ O concentratie stal (ppm)	0,35	0,40	0,35	0,36	0,80	0,72
N ₂ O emissie stal (g dag ⁻¹ per dier)	1,40	2,85	0,97	1,11	1,04	0,86
CO ₂ concentratie stal (ppm)	724	470	1033	1520	1330	1670
CO ₂ emissie stal (kg dag ⁻¹ per dier)	33,6	17,0	33,5	42,1	35,9	32,6

De CH₄-emissies liggen tussen 120 (stal overdag gedeeltelijk bezet) en 780 g dag⁻¹ per dier voor de ligboxenstal, en tussen 760 en 980 g dag⁻¹ per dier voor de grupstal. Op de Koeien-en-Kansenbedrijven werden waarden (gemiddeld ca. 500 g per dier per dag) gevonden die iets lager liggen dan in het onderhavige onderzoek (Huis in 't Veld en Monteny, 2003), maar ook daar was de bandbreedte aanzienlijk (spreiding: 170 – 1050 g per dier per dag). CO₂-emissies varieerden tussen 17-36 kg dag⁻¹ per dier voor de ligboxenstal, en tussen 33-42 kg dag⁻¹ per dier voor de grupstal. N₂O-emissies uit de ligboxenstal varieerden tussen 1,0-2,9 g dag⁻¹ per dier, uit de grupstal tussen 0,9-1,1 g dag⁻¹ per dier. Ter vergelijking, metingen in een potstal op een biologisch bedrijf (Mosquera *et al.*, 2005) resulteerden in een gemiddelde N₂O-emissie van 3 g dag⁻¹ per dier.

De afwezigheid van de dieren in de stal gedurende de beweiding is zichtbaar in de CH₄-emissie en de CO₂-emissie. Beide zijn voor een grote deel afkomstig van de dieren. In een situatie met volledige stalbezetting (februari, april) werden de hoogste waarden gemeten. Tijdens de septemberperiode, waarin de dieren overdag buiten liepen, was de emissie laag. Op jaarbasis zullen de emissies uit de grupstal aanzienlijk lager zijn ten opzichte van de ligboxenstal omdat de grupstal ca. 150 dagen leeg staat waardoor de emissie in die periode laag/nul is.

3.4 Geur

De gemeten geurconcentraties en –emissies worden in tabel 5 weergegeven. Over alle gemeten periodes bedroeg de geometrisch gemiddelde geuremissie van de stal 6634 OU_E/s (93 OU_E/s per

NGE). Vergelijkbaar onderzoek bij melkveehouderijbedrijven geeft aan dat de variatie tussen stallen en tussen metingen groot zijn. In Monteny *et al.* (1999) en Mosquera *et al.* (2005) variëren de resultaten tussen 12 OU_E/s per dier en 84 OU_E/s per dier.

In de huidige regelgeving voor geuremissie (VROM, 1996; VROM 2003) is de geuremissie bij de melkveehouderij niet in getallen vastgesteld maar wordt de zogenaamde afstandstabel gehanteerd. Afhankelijk van de omgeving moet de minimale afstand tot een gebouw 50 of 100 meter zijn. Ter vergelijking, binnen de geurregelgeving in Nederland wordt de geuremissie van een stal voor overige diergroepen (zonder afstandstabel) vergeleken met de geuremissie van een vleesvarken in een traditionele varkensstal. Een vleesvarken heeft een geuremissie van 23 OU_E/s (ofwel 1 MVE of 1 mestvarkeneenheid).

Tabel 5 Geurconcentraties en emissies

	Proef 1 mei '04 Ligboxenstal	Proef 2 september '04 Ligboxenstal	Proef 3 februari '05 Ligboxenstal
Aantal metingen	2	2	1
Geurconcentratie stal (OU _E /m ³)	151	594	809
Geuremissie stal (OU _E /s per NGE)	64	119	119

4 Discussie

Met de toegepaste meetmethode, de zogenaamde interne tracergas ratiomethode, is de afgelopen 10 tot 15 jaar door A&F veel ervaring opgedaan. Deze methode wordt meestal gebruikt bij metingen in natuurlijk geventileerde stallen voor het vaststellen van emissiefactoren ten behoeve van de Regeling ammoniak en veehouderij (RAV), maar ook voor het bepalen van de emissieniveau's uit o.a. de stallen binnen het project Koeien & Kansen. Om aan alle randvoorwaarden van de interne tracergas ratiomethode te voldoen, werden in de onderhavige situatie extra meetinspanningen uitgevoerd. Met name de goede menging van het tracergas en het specifieke gas (NH_3 , CH_4 , N_2O , geur,...) en de representativiteit van het genomen luchtmonster waren kritische punten. Het risico van een slechte menging werd veroorzaakt door de grote ventilatieopeningen (deuren) aan beide kopzijden van de stal. Hierdoor is het mogelijk dat de luchtsnelheid in de stal te hoog wordt, waardoor het tracergas onvoldoende tijd heeft om zich te mengen met het specifieke gas. Om in het onderhavige onderzoek toch betrouwbaar te kunnen meten, werden de grote ventilatieopeningen (deuren) gedurende de metingen voor een deel gesloten. De representativiteit van de genomen luchtmonsters was met name voor de ingaande lucht kritisch. Doordat voor beide stalsystemen (grup- en ligboxenstal) de luchtstroming van ingaande en uitgaande lucht bepaald werd door de windrichting en de sterkte van de wind, wisselde het correctiepunt voor de ingaande gasconcentratie regelmatig. De laagste concentratie tracergas en de windrichting bepaalde het meetpunt dat gebruikt werd om de stalconcentraties voor de achtergrondconcentratie te corrigeren. Tenslotte werd bij de grupstal, onafhankelijk van de gemeten concentraties, alle data uitgefilterd waarbij de windrichting zodanig was dat een sterke luchtstroom vanuit de ligboxenstal in de grupstal ontstond.

In het onderhavige onderzoek weken de meetstrategie en met name de lengte van de meetperioden af van het standaard protocol voor de vaststelling van de NH_3 -emissiefactor voor de RAV. Het betrof in dit onderzoek immers geen meting voor het vaststellen van een emissiefactor, maar een opzet voor een onderzoeksomgeving. De meetperioden waren zodanig gekozen dat voor de meest voorkomende (management-)situaties (opstallen, beweiden, seizoenen, rantsoenen) een betrouwbaar emissiecijfer werd verkregen die zowel op zichzelf staand als in onderlinge vergelijking maximale informatie bevatte. Ondanks een afwijkende meetstrategie, zijn de emissiecijfers bruikbaar voor vergelijking met de RAV emissiefactoren.

Gemiddeld (gewogen) komt de ammoniakemissie voor de ligboxenstal en de grupstal uit op respectievelijk 8,1 en 3,1 kg/jaar per dier. Deze beide waarden zijn lager (resp. 15% en 28%) dan de RAV-waarden. Het onderlinge verschil tussen beide stallen is goed verklaarbaar vanwege de leegstandperiode van 150 dagen van de grupstal. In deze periode is er geen emissie waardoor de emissie op jaarbasis lager uitkomt. De emissie per dag per NGE is vergelijkbaar, 20 tot 27 g/dag voor de ligboxenstal en 21-23 g/dag voor de grupstal. De verwachting was dat er verschil tussen de emissie van beide stallen zou zijn omdat het verschil in bevuild en dus emitterend oppervlak groot is (resp. 3,3 en 1 m² per dier). Met name bij de varkenshouderij is het verschil in emitterend

oppervlak een bewezen emissiereducerend principe (RAV, 2004). Metingen in de grupstal zijn naast deze 2 meetperioden slechts eenmaal eerder uitgevoerd zodat nog weinig informatie beschikbaar is over de spreiding van de ammoniakemissie tussen de verschillende grupstallen.

Naast het verschil met de RAV geeft figuur 7 ook inzicht in het emissieniveau van het huidige onderzoek ten opzichte van onderzoeksprojecten die buiten de RAV plaats vinden (met name Koeien en Kansen). Ten opzichte van de beschikbare relevante datasets binnen A&F blijkt dit bedrijf met de specifieke bedrijfsvoering binnen de puntenwolk (wel onderin) te vallen. Op basis van de lage N-gehalten in de mest en het gemiddeld lage gehalte aan melkureum werd een lage NH₃-emissie uit de stal verwacht. Echter, het ongunstige ventilatieregime zal de emissie waarschijnlijk hebben verhoogd zodat de uiteindelijk gemeten emissie dicht bij het gemiddelde niveau bleef.

Opvallend is de relatief lage ammoniakemissie in de ligboxenstal in de september-periode, bij een relatief hoog gehalte aan melkureum. Opgemerkt kan overigens worden dat in die periode de methaanemissie zeer laag was. Dit kon worden verklaard door de weidegang van de dieren gedurende de dag: bij afwezigheid van vee in de stal droogt de mest op de roosters sneller op, waardoor de emissie voornamelijk uit de mest in de mestkelder afkomstig is. Figuur 6 illustreert de afname in emissie tijdens de weidegang. Dit betekent dat de ammoniakemissie ook sterk afhankelijk is van bedrijfsvoering die niet alleen direct gerelateerd is aan het gehalte aan melkureum. Door dezelfde afwezigheid van het vee in de stal wordt geen endogeen methaan gevormd, waardoor de emissie sterk vermindert.

De methaanemissies liggen tussen 120 en 780 g per dier per dag voor de ligboxenstal en tussen 760 en 980 g voor de grupstal. Lagere emissies komen meestal voor bij rantsoenen die veel ruwe celstof bevatten, als ook bij rantsoenen met een gering aandeel krachtvoer. Op de Koeien-en-Kansenbedrijven werden waarden (gemiddeld ca. 500 g per dier per dag) gevonden die iets lager liggen dan in het onderhavige onderzoek (Huis in 't Veld en Monteny, 2003), maar ook daar was de bandbreedte aanzienlijk (spreiding: 170 – 1050 g per dier per dag).

In de literatuur zijn niet veel gegevens te vinden over de emissie van lachgas vanuit rundveestallen. In het algemeen wordt er vanuit gegaan dat lachgasemissies uit stallen met vloeibare mest gering zijn, omdat er geen omzettingsprocessen van ammoniak, via nitraat naar luchtstikstof plaatsvinden vanwege het ontbreken van zuurstof in de mest (daarbij ontstaat lachgas als tussenproduct). Worden de dieren echter op stro gehouden, dan kan lachgas ontstaan. Metingen aan een potstal op een biologisch bedrijf (Mosquera *et al.*, 2005) resulteerden in een gemiddelde N₂O-emissie van 2,5 g dag⁻¹ per dier. Dit is vergelijkbaar met de emissies die in het onderhavige onderzoek (tussen 1,0-2,9 g dag⁻¹ per dier voor de ligboxenstal, tussen 0,9-1,1 voor de grupstal) worden gerapporteerd.

5 Conclusies

De gasvormige emissies (NH_3 , CH_4 , N_2O , geur) uit de ligboxen- en de grupstal werden, gedurende respectievelijk 4 en 2 korte meetperioden, met de interne tracergas ratiomethode gemeten. De NH_3 -emissie uit de ligboxenstal was, op jaarbasis, 8,1 kg NH_3 per NGE (15% lager dan de emissiefactor in de RAV). Uitgaande van 215 staldagen was de NH_3 -emissie uit de grupstal 3,1 kg NH_3 per NGE (28% lager dan de emissiefactor in de RAV). CH_4 -emissies uit de ligboxenstal varieerden tussen 120 en 780 g dag^{-1} per dier, en tussen 760 en 980 g dag^{-1} per dier uit de grupstal. N_2O -emissies uit de ligboxenstal varieerden tussen 1,0 en 2,9 g dag^{-1} per dier, en tussen 0,9 en 1,1 g dag^{-1} per dier uit de grupstal. De geometrisch gemiddelde geuremissie uit de ligboxenstal bedroeg 93 $\text{OU}_E \text{ s}^{-1}$ per dier.

Literatuur

- Beoordelingsrichtlijn (1996). Beoordelingsrichtlijn in het kader van Groen Label stallen, uitgave maart 1996. Publicatie van de Ministeries van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieugeheer en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- Huis in 't Veld, J.W.H. en Monteny, G.J. (2003). Methaanemissie uit natuurlijk geventileerde melkveestallen. *IMAG Rapport 2003-11*.
- Huis in 't Veld, J.W.H., en R. Scholtens (1998). Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXXII: natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkkoeien. *DLO-rapport 98-1006*.
- Huis in 't Veld, J.W.H., Monteny, G.J. en Scholtens, R. (2001). Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVIII. Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkvee; zomerperiode. *IMAG Rapport 2001-03*.
- Huis in 't Veld, J.W.H., Smits, M.C.J. en Monteny, G.J. (2003). Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien&Kansen-bedrijven. *Koeien&Kansen Rapport 17*.
- Infomil (2004). Wijziging Regeling ammoniak en veehouderij. In: *Staatscourant 1 mei 2004*.
- Monteny, G.J., Scholtens, R., Klarenbeek, J.V., De Bree, F. (1999). Oriënterend onderzoek naar geuremissie van rundveestallen. *IMAG Rapport 99-17*.
- Mosquera, J., Hofschreuder, P., Erisman, J.W., Mulder, E., van 't Klooster, C.E., Ogink, N., Swierstra, D. en Verdoes, N. (2002). Meetmethode gasvormige emissies uit de veehouderij. *IMAG rapport 2002-12*.
- Mosquera, J., Hol, J.M.G., Monteny, G.J. (2005). Onderzoek naar de emissies van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee. I. Stal. *A&F Rapport 324*.
- NNI (1995). NVN 2820/A1 Luchtkwaliteit, sensorische geurmetingen met een olfactometer. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Maart 1995 (met wijzigingsblad A1, in brief aan geaccrediteerde instellingen 1996).
- Ogink, N.W.M. en Mol, G. (2002). Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. *IMAG nota P 2002-57*.
- Scholtens, R. (1993). NH₃-converter + NO_x- analyser. In *Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij 16* (eds E.N.J. van Ouwkerk). DLO, Wageningen, p. 19-22.
- Scholtens, R. en Huis in 't Veld, J.W.H. (1997). Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVI: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met betonroosters voor melkvee. *DLO-Rapport 97-1006*.
- Tamminga, S., Jongbloed, A.W., van Eerdt, M.M., Aarts, H.F.M., Mandersloot, F., Hoogervorst, N.J.P. en Westbroek, H. (2000). De forfaitaire excretie van stikstof door landbouwhuisdieren. *Rapport ID Lelystad 00-2040R*.

Samenvatting

In 2004 zijn verschillende metingen gestart om de nutriëntenstromen op het melkveebedrijf Spruit (Zegveld) te karakteriseren. Gedurende enkele korte meetperioden in 2004 en 2005 werden onder andere de gasvormige emissies (ammoniak, broeikasgassen, geur) uit verschillende bronnen (stal, mesttoediening, mestopslag) gemeten. Dit rapport is deel I van het project dat door Agrotechnology and Food Innovations werd uitgevoerd om de gasvormige emissies van het melkveehouderijbedrijf van de familie Spruit te meten. Hier worden de emissies uit de ligboxen- en grupstal gepresenteerd. Doordat de ligboxen- en grupstal tegen elkaar zijn geplaatst ontstaat een gecompliceerd luchtbewegingspatroon waarbij lucht tussen beide stallen kan worden uitgewisseld. Dit bemoeilijkt het nauwkeurig vaststellen van de stalemissies. In dit rapport wordt daarom uitgebreid aandacht besteed aan de gekozen meetstrategie. Daarnaast worden de resultaten van de metingen gepresenteerd. Dit betreft de emissie van ammoniak, methaan, lachgas en geur.

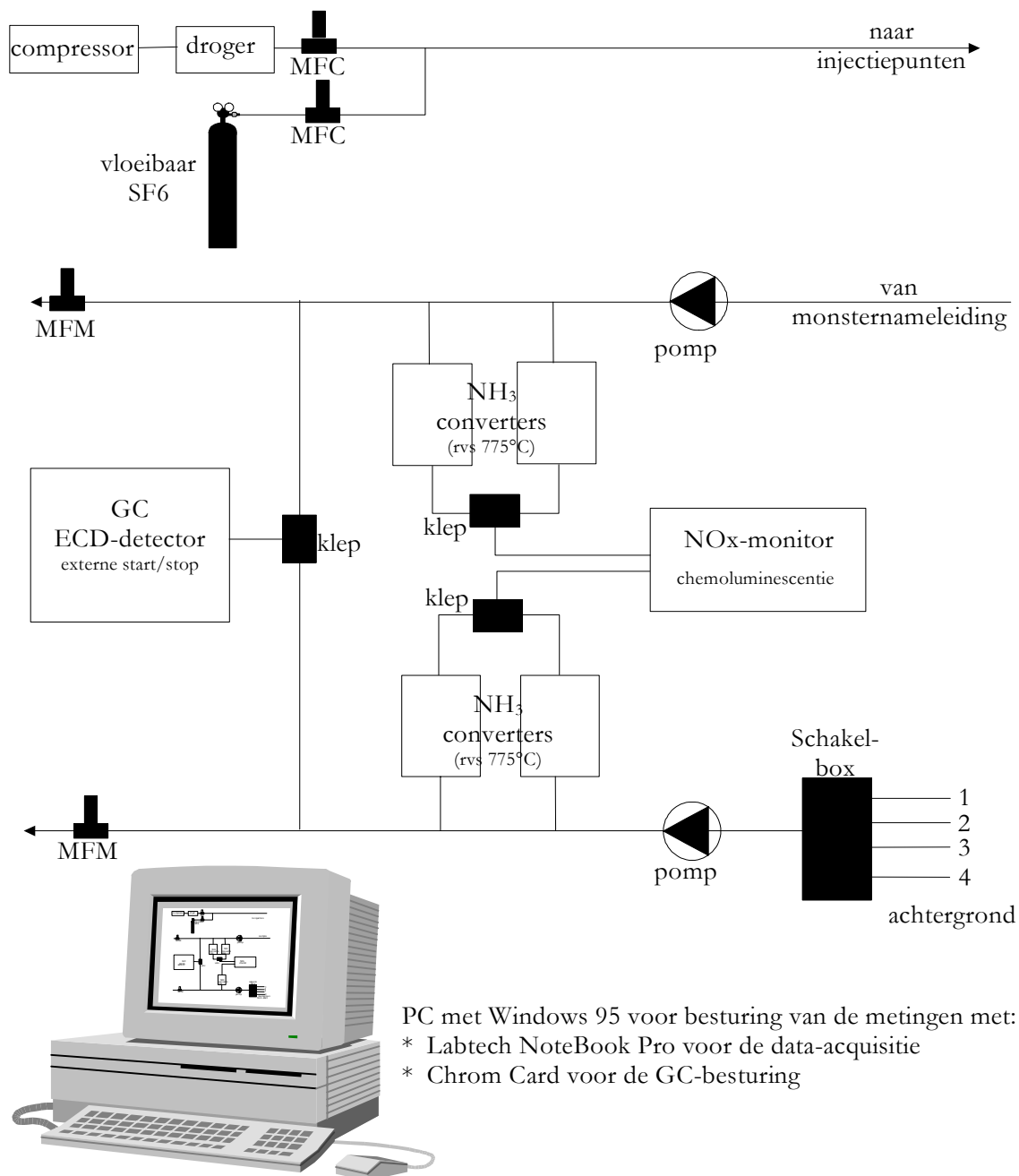
Om de gasvormige emissies uit zowel de ligboxen- als de grupstal te karakteriseren werd de interne tracergas ratiomethode gebruikt. Hierbij wordt aangenomen dat een tracergas, dat kunstmatig geïnjecteerd wordt in de stal, en het gas waarvan de bronsterkte bepaald moet worden, zich op dezelfde wijze vanaf het bronniveau door de stal verdelen. NH_3 -concentraties werden semi-continu gemeten met behulp van een NO_x monitor en een convertor, waarin NH_3 eerst omgezet wordt tot NO . De tracergas (SF_6) werd met een gaschromatograaf (voorzien van een Electron Capture Detector) gemeten. CH_4 en N_2O werden gedurende een periode van 24 uur in een canister verzameld, en de concentraties in het milieulaboratorium van A&F met een gaschromatograaf bepaald.

De NH_3 -emissie uit de ligboxenstal was, op jaarbasis, 8,1 kg NH_3 per NGE (15% lager dan de emissiefactor in de RAV). Uitgaande van 215 staldagen was de NH_3 -emissie uit de grupstal 3,1 kg NH_3 per NGE (28% lager dan de emissiefactor in de RAV). CH_4 -emissies uit de ligboxenstal varieerden tussen 120 en 780 g dag⁻¹ per dier, en tussen 760 en 980 g dag⁻¹ per dier uit de grupstal. N_2O -emissies uit de ligboxenstal varieerden tussen 1,0 en 2,9 g dag⁻¹ per dier, en tussen 0,9 en 1,1 g dag⁻¹ per dier uit de grupstal. De geometrisch gemiddelde geuremissie uit de ligboxenstal bedroeg 93 $\text{OU}_E \text{ s}^{-1}$ per dier.

Bijlagen

- Bijlage A Schema meetopstelling
- Bijlage B Achtergrondinformatie interne tracergasratio-methode
- Bijlage C Kalibratieresultaten van de gaschromatograaf
- Bijlage D Principe en kalibratieresultaten NO_x-monitor
- Bijlage E Omzettingspercentage convertors
- Bijlage F Temperatuur
- Bijlage G Relatieve luchtvochtigheid
- Bijlage H Ventilatie-debiet
- Bijlage I Ammoniakconcentratie

Bijlage A Schema meetopstelling



Figuur A1 Schema van de meetopstelling voor de tracergasinjectie en de gasanalyse

Bijlage B Achtergrondinformatie interne tracergasratio-methode

De ammoniakemissie uit natuurlijk geventileerde stallen kan worden bepaald volgens de interne tracergasratio-methode. Bij deze methode wordt aangenomen dat het kunstmatig vrijgelaten tracergas en het gas waarvan de bronsterkte bepaald moet worden, zich op dezelfde wijze vanaf het bronniveau door de stal verdelen. In dit geval is de verhouding van de bronsterktes van beide gassen af te leiden uit de verhouding van de gemeten gasconcentraties. De volgende vergelijking beschrijft de berekeningswijze van de ammoniakemissie volgens de interne tracergasratio-methode in de praktijk:

$$Q_{NH_3}^{NTP}(i, j) = \frac{Q_{SF_6}^{NTP}(i, j)}{\Delta C_{SF_6}(i, j)} * \Delta C_{NH_3}(i, j) = K_M * \Delta C_{NH_3}(i, j)$$

waarin:

$Q_{NH_3}(i, j)$: NH_3 -bronsterkte op uur i van dag j (ml/min);

K_M : mengfactor (m^3/min);

$Q_{SF_6}(i, j)$: uurgemiddeld SF_6 -injectie tijdens uur i van dag j (ml/min);

$\Delta C_{NH_3}(i, j)$: uurgemiddelde NH_3 -concentratieverschil tussen binnen- en buitenlucht tijdens uur i van dag j (ppm);

$\Delta C_{SF_6}(i, j)$: uurgemiddelde SF_6 -concentratieverschil tussen binnen- en buitenlucht tijdens uur i van dag j (ppm);

$i = 1 \dots 24$: uur op een dag;

$j = 1 \dots N$: nummer van een meetdag in de meetperiode;

NTP : normaaltemperatuur (273,15 K) en -druk (1013,25 hPa).

De ammoniak-bronsterkte in ml/min wordt als volgt omgerekend naar ammoniakemissie (g/uur):

$$E(i, j) = Q_{NH_3}^{NTP}(i, j) * \rho^{NTP} * \frac{60}{1000}$$

waarin:

$E(i, j)$: ammoniakemissie op uur i van dag j (g/uur);

ρ : soortelijk gewicht van ammoniak (g/l);

60: aantal minuten in een uur;

1000: omrekeningsfactor van mg naar g.

Tracergasexperimenten zijn in principe bruikbaar voor alle geventileerde ruimten, zolang er een goede menging van de ruimtelucht optreedt. Bij grote concentratiegradiënten of duidelijke stagnatiezones verliest de methode aan nauwkeurigheid indien de aanname van ideale menging van de stallucht gehandhaafd wordt. Voor zeer open stallen kan dit een probleem zijn. De verblijftijd van de lucht in de stal kan zodanig laag zijn, dat geen goede menging in de stal

optreedt. In een ideale situatie is voor een oppervlakte met afmeting A_O de bronsterkte van het tracergas bekend en constant ($Q_{tr,O}$), terwijl de bronsterkte van het te meten gas (NH_3) niet bekend en variabel ($Q_{NH_3,O}$) is. Er zijn geen andere storende bronnen aanwezig. Op enige afstand van de bron is, in het gebouw, een concentratiemeetpunt gesitueerd. De op dat punt gemeten concentraties van tracergas (C_{tr}) en NH_3 (C_{NH_3}) zijn afhankelijk van het mengproces dat het bemonsterde pakketje lucht heeft ondergaan. In een formule kan dit proces als volgt worden weergegeven:

$$C = K \cdot Q \cdot L$$

De weglengte L is de lengte van de door het luchtpakketje afgelegde weg van de bron tot meetpunt. De dispersiefactor K is een maat voor de menging van het luchtpakketje met stallucht (diffusie en turbulente menging). De constante weglengte L kan met de dispersiefactor worden opgenomen in een dispersiefactor K' ($K'=K*L$) met dimensie (s/m).

Uit de bekende bronsterkte van het tracergas en de tracergasconcentratie op het meetpunt kan de dispersiefactor K' voor het pakketje lucht worden berekend:

$$K' = \frac{C_{tr}}{Q_{tr,O}}$$

Met de berekende dispersiefactor en het oppervlak A_O wordt de sterkte van de NH_3 -bron bepaald volgens:

$$Q_{NH_3} = \frac{A_O * C_{NH_3}}{K'} = K_M * C_{NH_3}$$

Omdat A_O constant is kunnen K' en A_O samengevoegd worden tot de mengfactor K_M ($=A_O/K'$) met dimensie (m^3/s).

Randvoorwaarden voor de interne tracergasratio-methode zijn dat:

- een goede menging plaatsvindt tussen het tracergas en ammoniak;
- het tracergas nabij de ammoniakbron wordt geïnjecteerd;
- een representatief luchtmonster wordt genomen.

In een stal treden de volgende afwijkingen van het bovenstaande model op:

- de NH_3 -bron is niet homogeen in tijd en plaats;
- de weglengte en bewegingssnelheid zijn niet gelijk voor alle pakketjes lucht;
- de tracergasinjectie is geen echte oppervlaktebron, terwijl de NH_3 -bron dat wel is.

De eerste twee afwijkingen hebben ieder tot gevolg dat niet volstaan kan worden met een enkel meetpunt in de stal. Er kan gekozen worden voor meerdere aparte meetpunten in de stal of een verzamelleiding. Aparte in de stal gemeten concentraties worden gemiddeld om de NH_3 -productie te berekenen. Een verzamelleiding op basis van dezelfde meetpunten geeft, mits van ieder meetpunt een gelijke volumestroom wordt bemonsterd, dezelfde gemiddelde concentratie. De volgende vergelijking verduidelijkt het bovenstaande. De gemiddelde concentratie van N meetpunten wordt als volgt berekend:

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N}$$

De concentratie in de verzamelleiding kan worden berekend met de volgende vergelijking. Aangenomen wordt dat de flow (f_i) op ieder meetpunt gelijk is aan f .

$$C_v = \frac{\sum_{i=1}^N f_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^N f_i} = \frac{f \cdot \sum_{i=1}^N C_i}{N \cdot f} = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N}$$

Doordat de flows van meetpunten van de verzamelleiding gelijk zijn komt de gemeten concentratie van de verzamelleiding (C_v) overeen met de gemiddelde concentratie op de meetpunten (C_p).

Systematische afwijkingen in de interne tracergasratio-methode door de hierboven aangehaalde punten zijn naar verwachting gering, omdat een goed verzamelmonster van de stallucht hiervoor corrigeert. De invloed van de laatste afwijking is sterk afhankelijk van de uitvoering van het injectiesysteem. Geschikte tracergassen dienen aan de volgende voorwaarden te voldoen:

- lage achtergrondconcentratie;
- het gas mag geen gevaar vormen voor mensen en dieren in het geval van inhalatie, voor de toegepaste concentraties in het gebouw;
- veilig met betrekking tot vuur en explosie bij de gebruikte concentratie;
- lage tracergasconcentraties dienen gemakkelijk en nauwkeurig gemeten te kunnen worden;
- geen invloed van andere gassen die in het gebouw voorkomen op de metingen van tracergasconcentraties;
- geen directe of indirecte invloed van het tracergas op de gemeten gassen;
- goedkoop en eenvoudig te verkrijgen;
- lage milieubelasting.

Zwavelhexafluoride (SF_6) is het meest gebruikte tracergas voor ventilatiedoeleinden. Met een gaschromatograaf voorzien van een ECD (Electron Capture Detector) kunnen zeer lage SF_6 concentraties (ppt's) gemeten worden. Dit betekent dat slechts kleine hoeveelheden van het tracergas geïnjecteerd moeten worden. Bovendien is de natuurlijke achtergrondconcentratie voor SF_6 erg laag (ppt's). Andere factoren die maken dat SF_6 het ideale tracergas is, zijn:

- niet toxisch, niet radioactief, kleurloos, geurloos en smaakloos;
- niet ontvlambaar en niet corrosief;
- gasvormig onder kamertemperatuur omstandigheden;
- chemisch inert en thermisch stabiel voor atmosferische omstandigheden;
- geschikt om vrij snel en onder controle te injecteren van punt- en oppervlaktebronnen;
- commercieel beschikbaar;

- bemonstering mogelijk met verschillende technieken:
 - spuitjes, canisters (gemiddelde concentratie over een meetperiode)
 - GC-ECD (semi-continu concentratiemetingen)

Voor toepassing in praktijkstallen heeft SF₆ de volgende nadelen:

- SF₆ heeft een zeer hoog molecuulgewicht, waardoor een geïnjecteerde gasstroom met puur SF₆ een hogere dichtheid heeft dan de omgevende lucht. Dit maakt menging in de stal problematisch. Bij sterk voorverdunde injectiestromen speelt dit probleem niet.
- Om te voorkomen dat SF₆ in de injectie- en monsternaleidingen geabsorbeerd wordt moeten polyethyleen (PE) leidingen worden gebruikt (geen teflon).
- Het broeikasgaseffect van SF₆ is groot in vergelijking met andere gassen. Aangezien zeer lage SF₆ concentraties gemeten kunnen worden, blijven de geïnjecteerde hoeveelheden SF₆ beperkt.

De mengfactor is te interpreteren als de hoeveelheid lucht die nodig is om het bij de oppervlaktebron geïnjecteerde tracersgas te verdunnen tot de in de monsternaleiding gemeten concentratie en vormt daarmee een maat voor het ventilatiedebiet.

Bijlage C Kalibratieresultaten van de gaschromatograaf

Tracergasconcentratie

Voor de analyse van het SF₆-tracergas werd gebruik gemaakt van een gaschromatograaf (GC 8000 series van Fisons Instruments). Deze was uitgerust met een ECD-80 detector (Electron Capture Detection). Tevens was de GC voorzien van een automatisch injectiesysteem met een injectielus van 500 µl. De stallucht werd continu langs het monsternamepunt van de GC geleid. Iedere 3 minuten werd een luchtmonster genomen en geanalyseerd. De scheiding van de gassen in de GC vond plaats over twee gepakte Molsieve 5A kolommen (kolom 1: diameter 1/8", lengte 1 m; kolom 2: diameter 1/8", lengte 2 m). Nadat het SF₆ de eerste kolom was gepasseerd werd deze middels een backflush-systeem schoongespoeld. Op deze wijze raakten analysekolom 2 en de ECD detector minder snel vervuild. Als dragergas werd zuiver N₂-gas gebruikt.

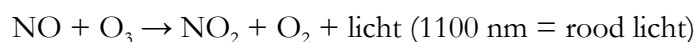
Kalibratieresultaten

De gaschromatograaf werd tijdens het onderzoek wekelijks gekalibreerd. Tijdens de eerste meetperiode was de concentratie van het kalibratiegas 45,7 ppb SF₆-gas in N₂. Tijdens de drie overige meetperioden had het kalibratiegas een concentratie van 48,8 ppb SF₆-gas in N₂. Tijdens de eerste meetperiode (april/mei 2004) bedroeg de absolute afwijking tijdens de kalibratie gemiddeld 7,8%, en tijdens de tweede meetperiode (september 2004) gemiddeld 5,8%. Tijdens de derde (januari 2005) en vierde meetperiode (april 2005) waren de afwijkingen respectievelijk 12,3 en 7,1%. Aan de hand van de kalibraties met het SF₆-ijkgas werden de uurgemiddelde tracergasconcentraties lineair gecorrigeerd voor het verloop van de GC tussen twee kalibraties.

Bijlage D Principe en kalibratieresultaten NO_x-monitor

Meetprincipe

De ammoniakconcentratie wordt continu gemeten met behulp van een NO_x-monitor (Advanced Pollution instimulation Inc., model 200A). De meting is gebaseerd op de chemiluminescentiereactie tussen ozon (O₃) en stikstofmonoxide (NO). Bij deze reactie komt stikstofdioxide (NO₂), zuurstof (O₂) en licht vrij. De stroom lichtdeeltjes is evenredig met de NO-concentratie van de aangezogen lucht:



Om ammoniak (NH₃) te kunnen meten moet het eerst door een convertor worden omgezet tot NO. In de convertor wordt de lucht verhit tot circa 775°C. Bij deze temperatuur wordt NH₃ aan een roestvrijstalen katalysator geoxideerd tot NO. De luchtmonsters worden continu via verwarmde en geïsoleerde teflon slangen aangezogen. NH₃ adsorbeert namelijk makkelijk aan allerlei materialen en lost makkelijk op in water, waardoor metingen kunnen worden verstoord (Bleijenberg, R en Ploegaert, J.P.M.. Handleiding meetmethoden ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen. Wageningen, IMAG-DLO, 1994; Rapport 94-1, 76 pp).

Kalibratieresultaten

De wekelijkse kalibratie van de monitor werd tot 16 september 2004 uitgevoerd met 39,4 ppm NO-gas in N₂. Na deze datum werd 41,4 ppm NO-gas in N₂ gebruikt. Tijdens de eerste twee meetperioden in 2004 bedroeg de gemiddelde absolute afwijking tijdens de kalibraties respectievelijk 3,1 en 11,1%. Tijdens de derde en vierde meetperiode in 2005 was de gemiddelde afwijking 3,0 en 3,5%. Voor het verloop in ammoniakconcentratie tussen 2 kalibraties zijn de concentraties lineair gecorrigeerd.

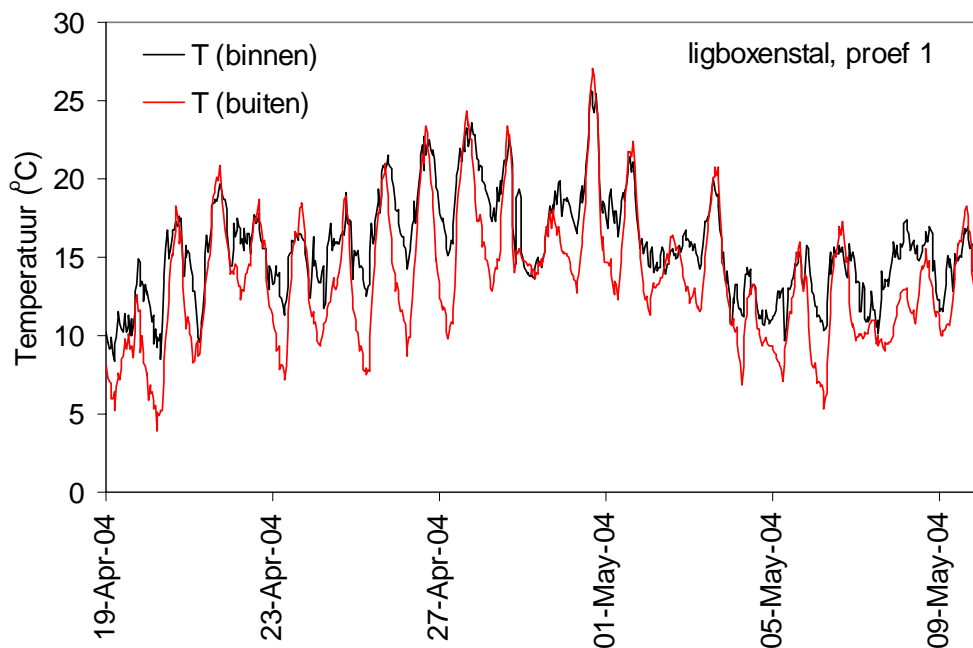
Bijlage E Omzettingspercentages convertors

In onderstaande tabel staan de gemiddelde omzettingspercentages van de convertors weergegeven bij aanbieding van ongeveer 10 ppm NH₃ in N₂. De omzettingspercentages van de convertors zijn bepaald voor het begin en na het einde van het onderzoek. Zowel voor de hoge concentraties (verzamelleiding uit stal) als voor de lage concentraties (achtergrond) zijn 2 convertors gebruikt. Na iedere meting werd het aangevoerde luchtmonster middels een driewegklep door een andere convertor geleid. Per kanaal is het gemiddelde van de omzettingspercentages van de aanwezige convertors gebruikt voor de correctie van de ammoniakconcentratie.

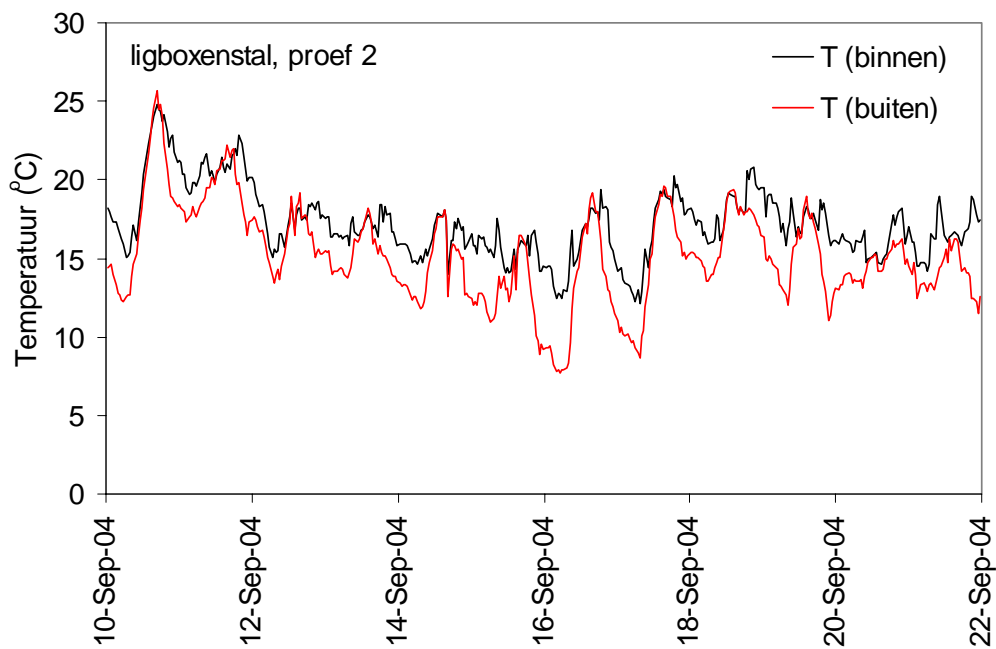
Tabel E1 Gemiddeld omzettingsrendement van de convertors tijdens het onderzoek.

	Rendement %
Hoge concentraties	95,8
Lage concentraties	96,5

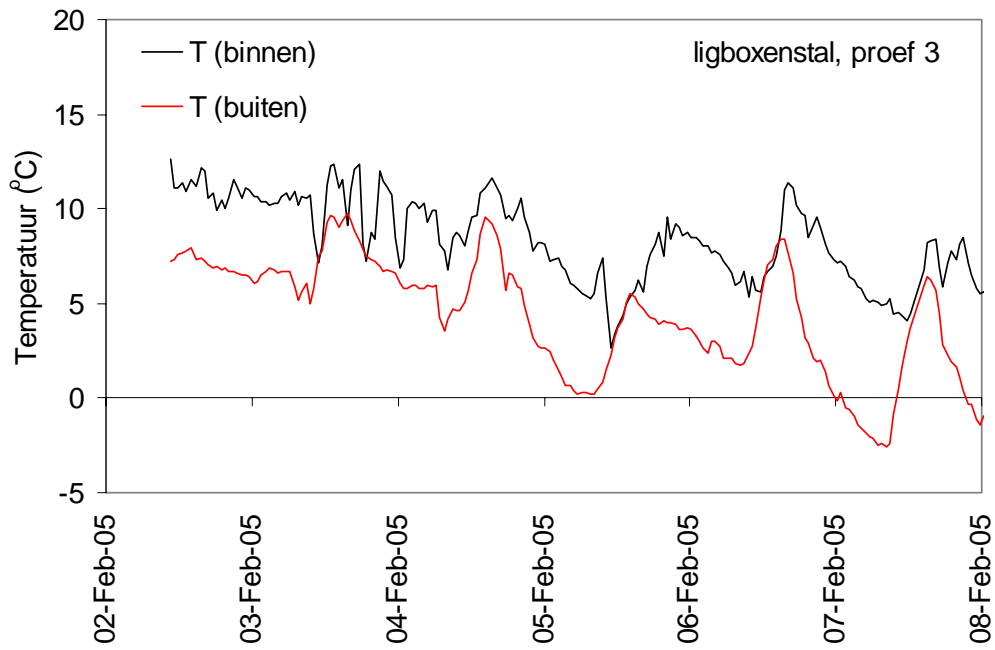
Bijlage F Temperatuur



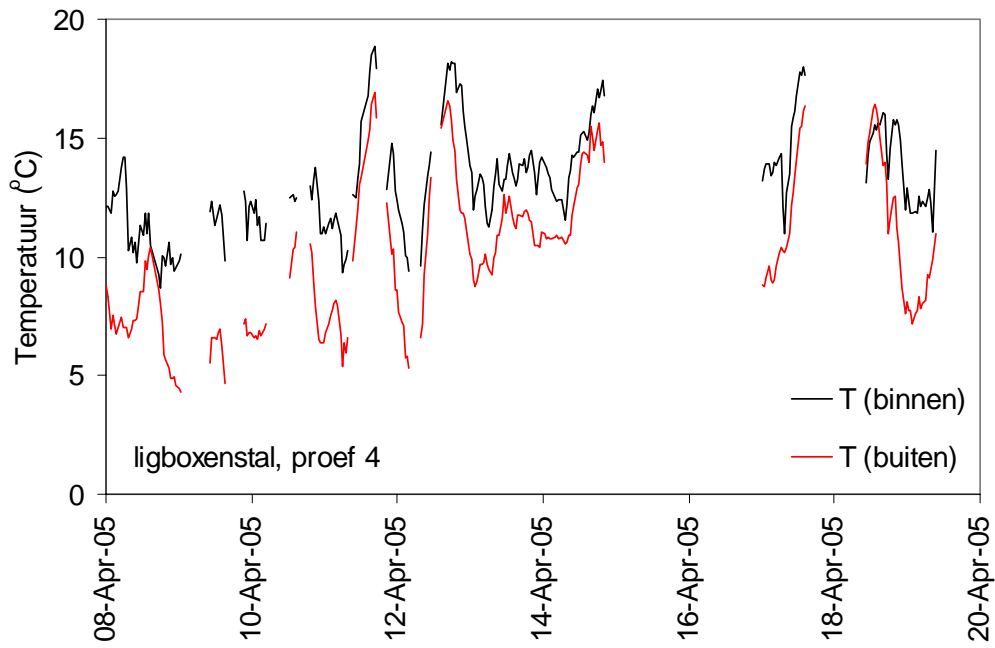
Figuur F1 Daggemiddelde temperatuur binnen en buiten de ligboxenstal voor proef 1



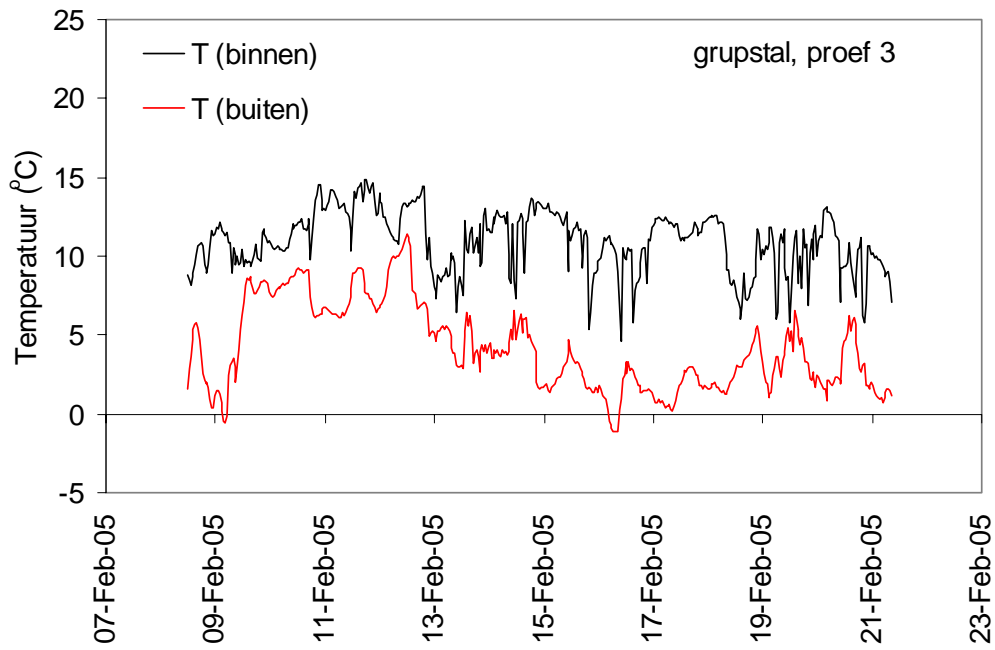
Figuur F2 Daggemiddelde temperatuur binnen en buiten de ligboxenstal voor proef 2



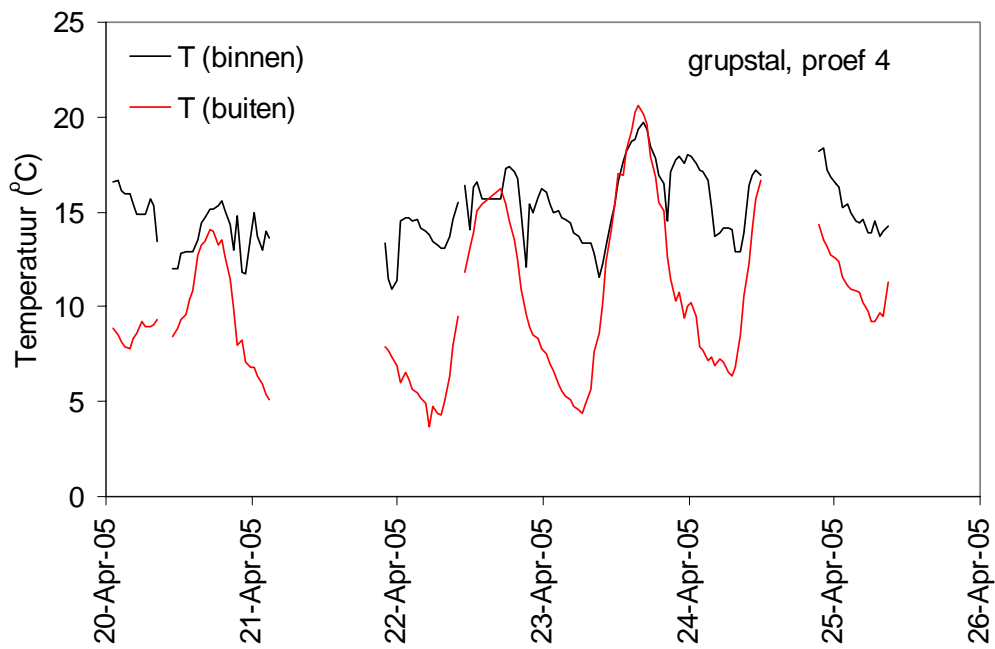
Figuur F3 Daggemiddelde temperatuur binnen en buiten de ligboxenstal voor proef 3



Figuur F4 Daggemiddelde temperatuur binnen en buiten de ligboxenstal voor proef 4

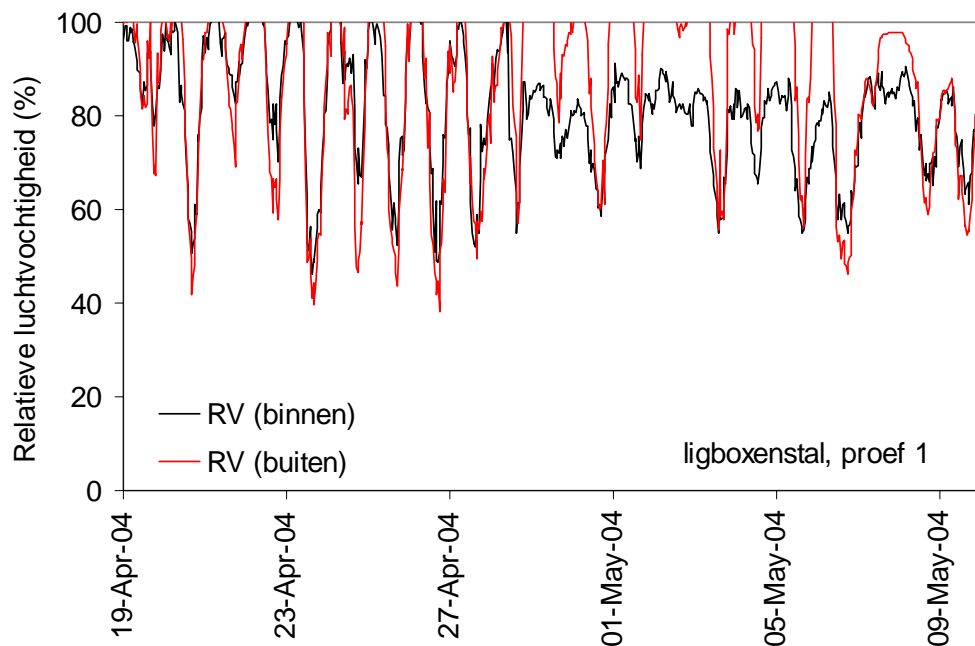


Figuur F5 Daggemiddelde temperatuur binnen en buiten de grupstal voor proef 3

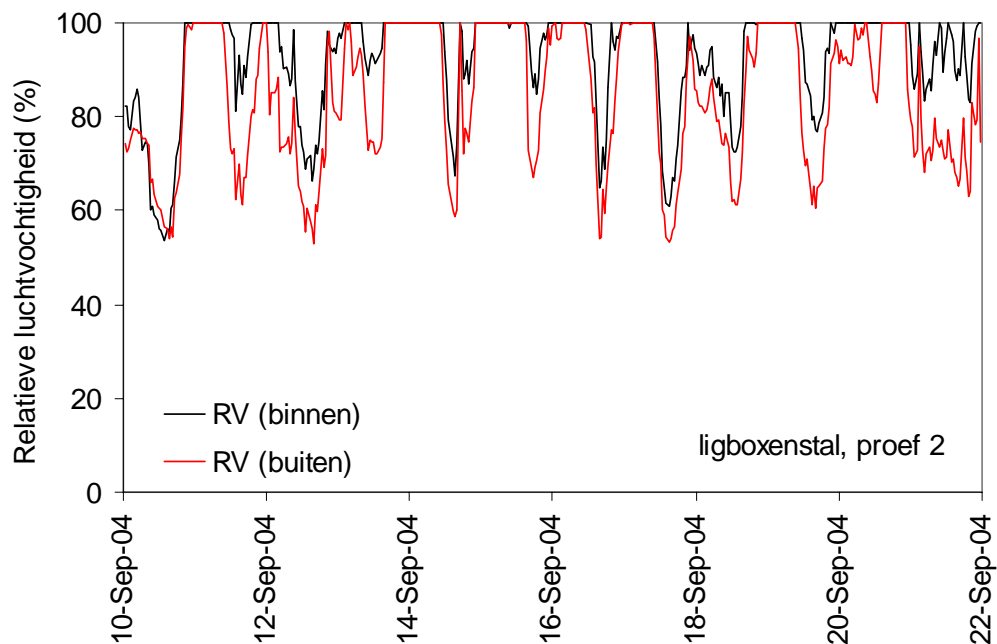


Figuur F6 Daggemiddelde temperatuur binnen en buiten de grupstal voor proef 4

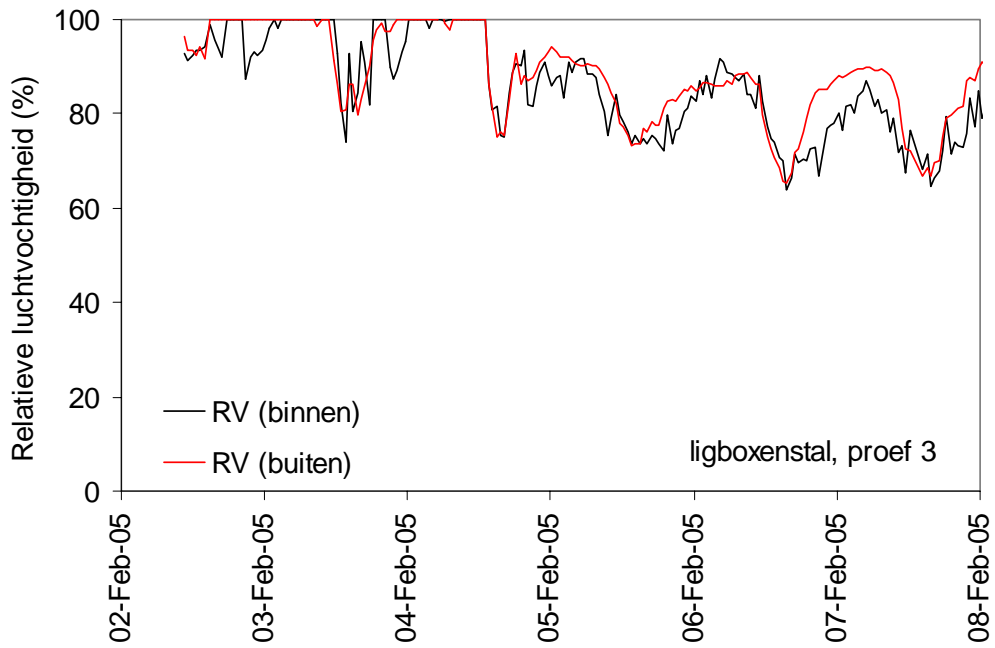
Bijlage G Relatieve luchtvochtigheid



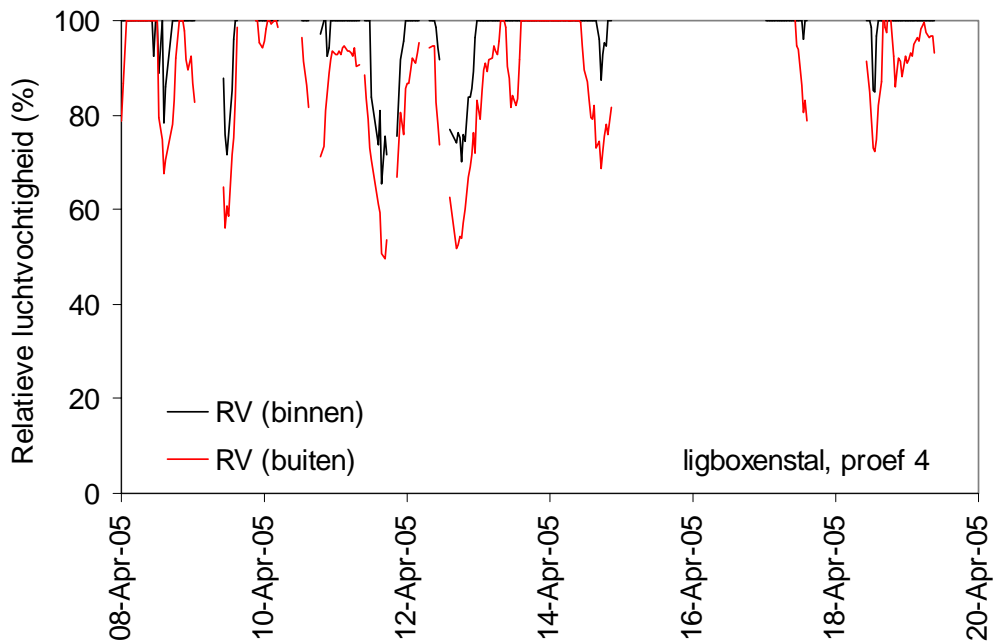
Figuur G1 Daggemiddelde relatieve luchtvochtigheid binnen en buiten de ligboxenstal voor proef 1



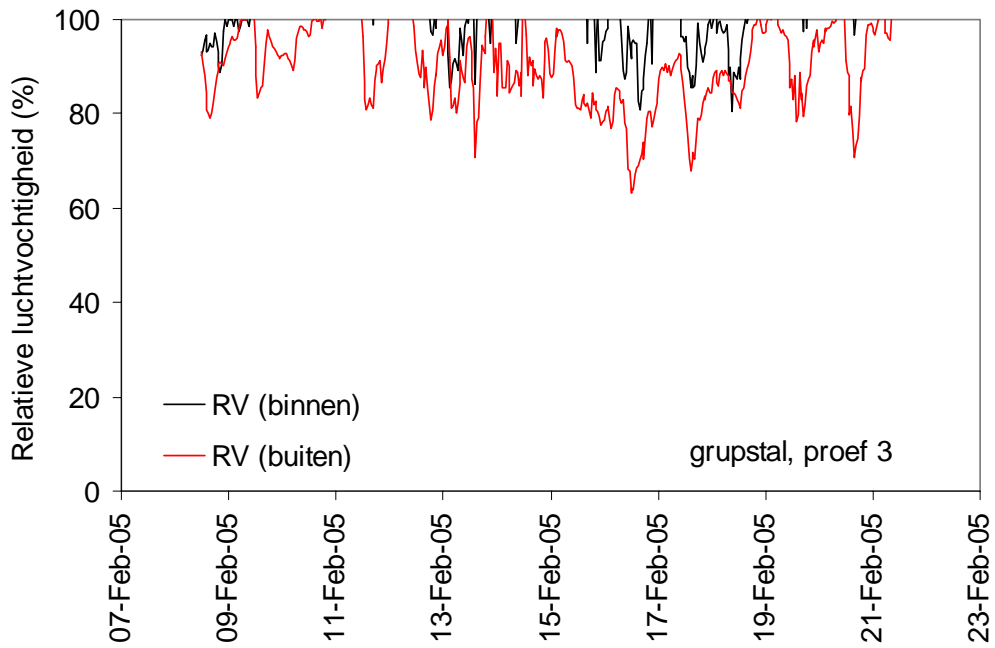
Figuur G2 Daggemiddelde relatieve luchtvochtigheid binnen en buiten de ligboxenstal voor proef 2



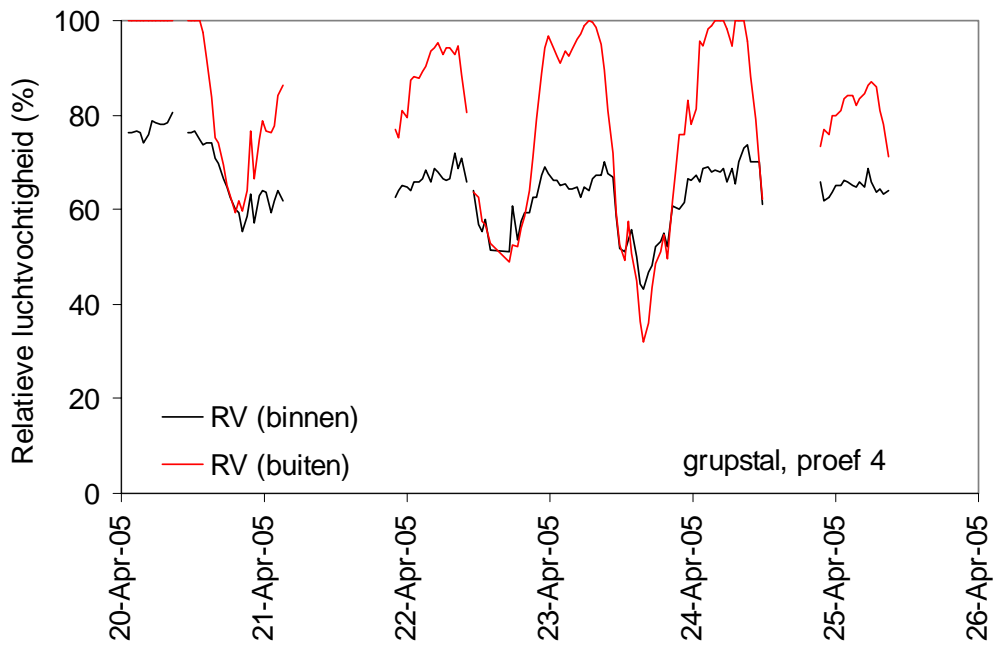
Figuur G3 Daggemiddelde relatieve luchtvochtigheid binnen en buiten de ligboxenstal voor proef 3



Figuur G4 Daggemiddelde relatieve luchtvochtigheid binnen en buiten de ligboxenstal voor proef 4

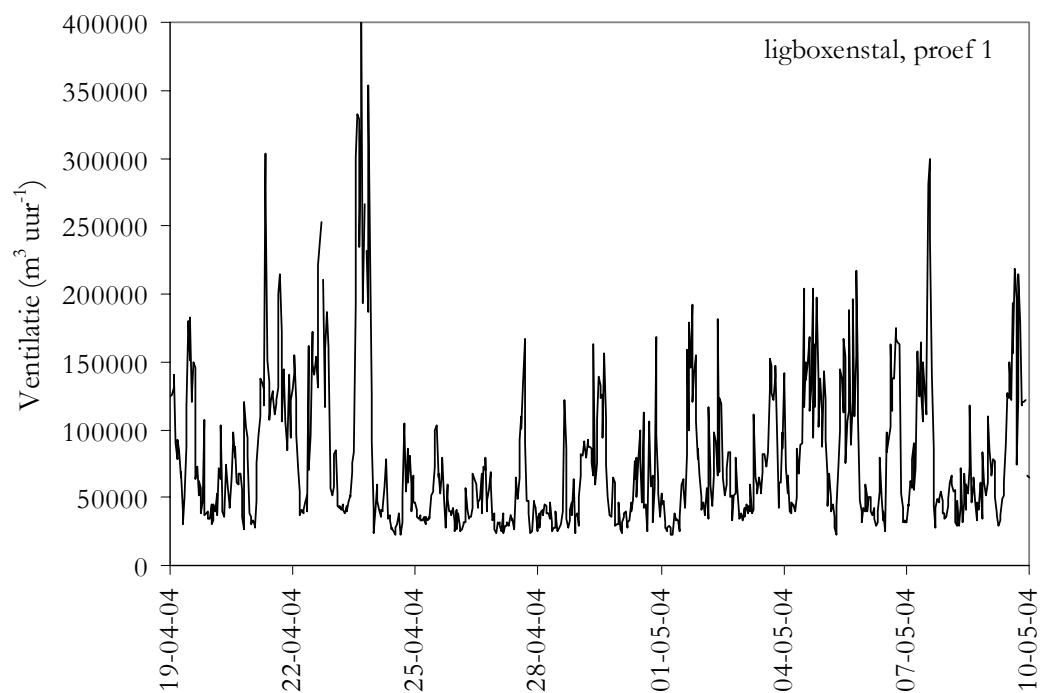


Figuur G5 Daggemiddelde relatieve luchtvochtigheid binnen en buiten de grupstal voor proef 3

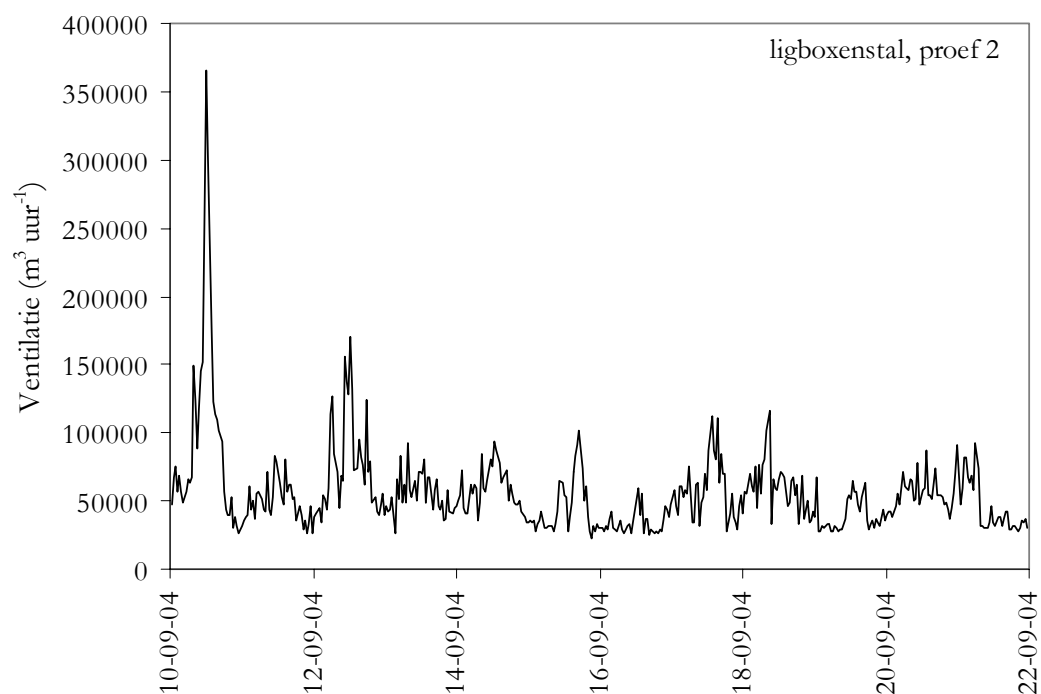


Figuur G6 Daggemiddelde relatieve luchtvochtigheid binnen en buiten de grupstal voor proef 4

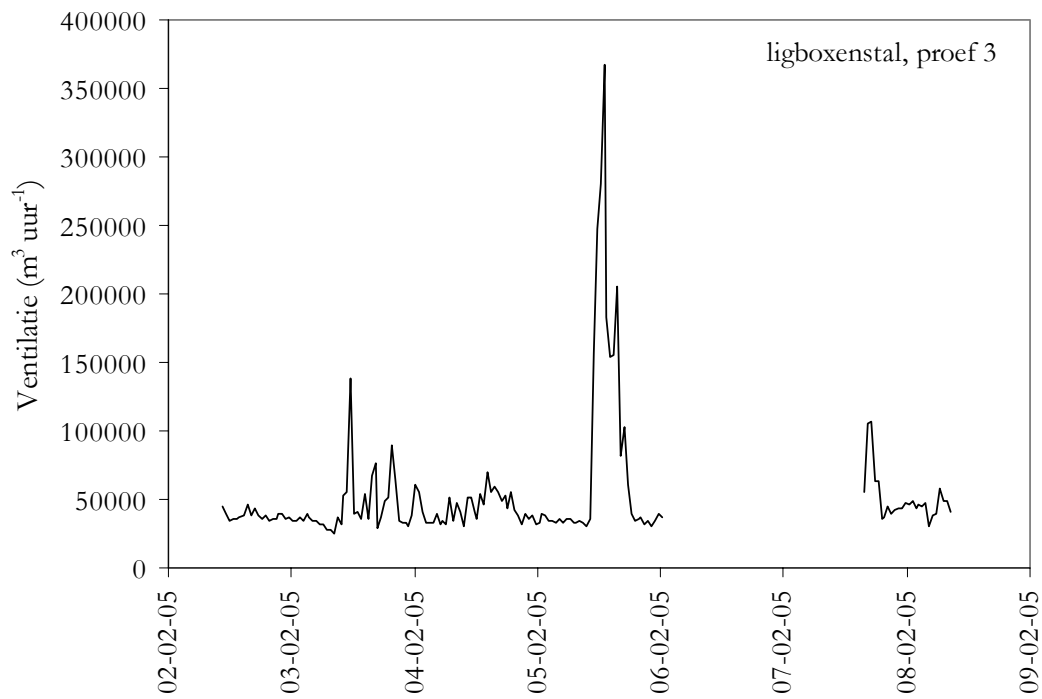
Bijlage H Ventilatie-debiet



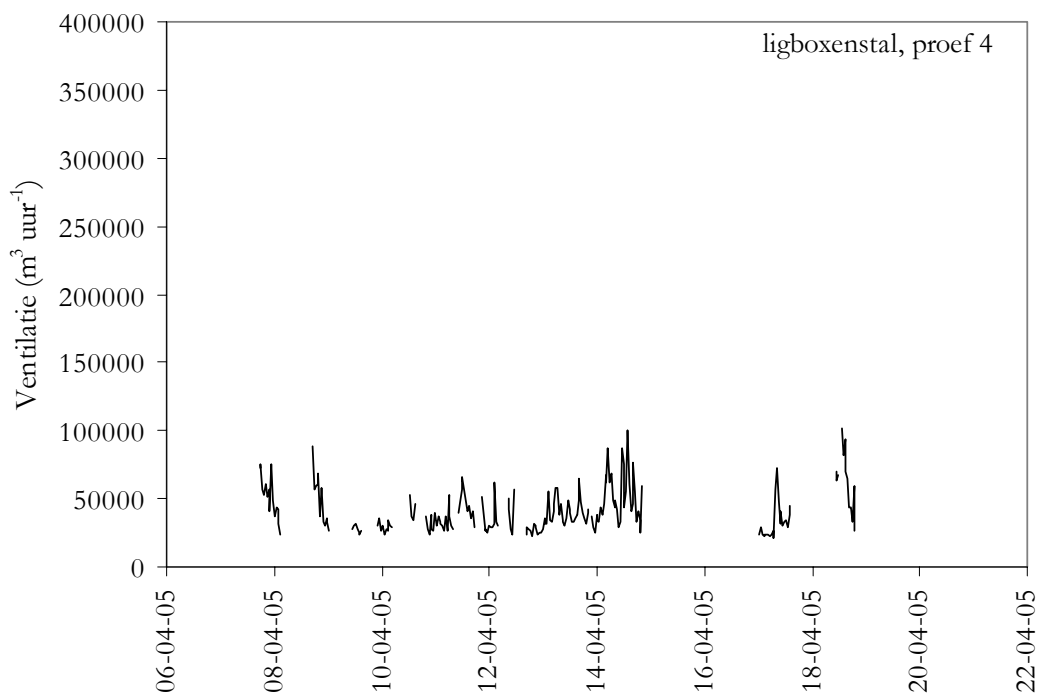
Figuur H1 Uurgemiddelden ventilatiedebiet in de ligboxenstal voor proef 1



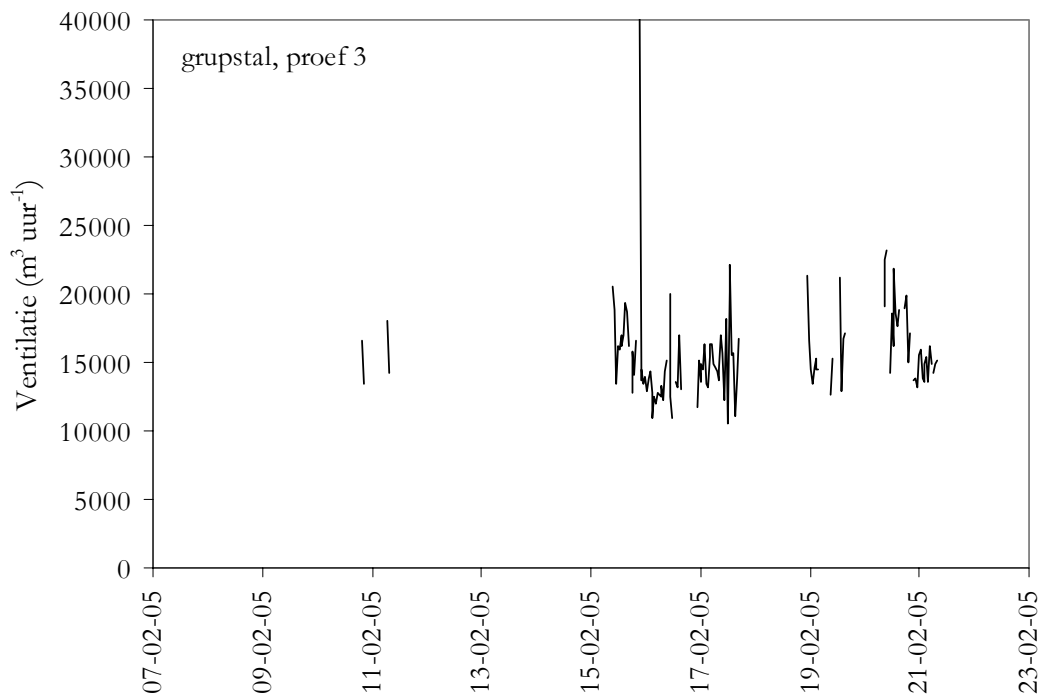
Figuur H2 Uurgemiddelden ventilatiedebiet in de ligboxenstal voor proef 2



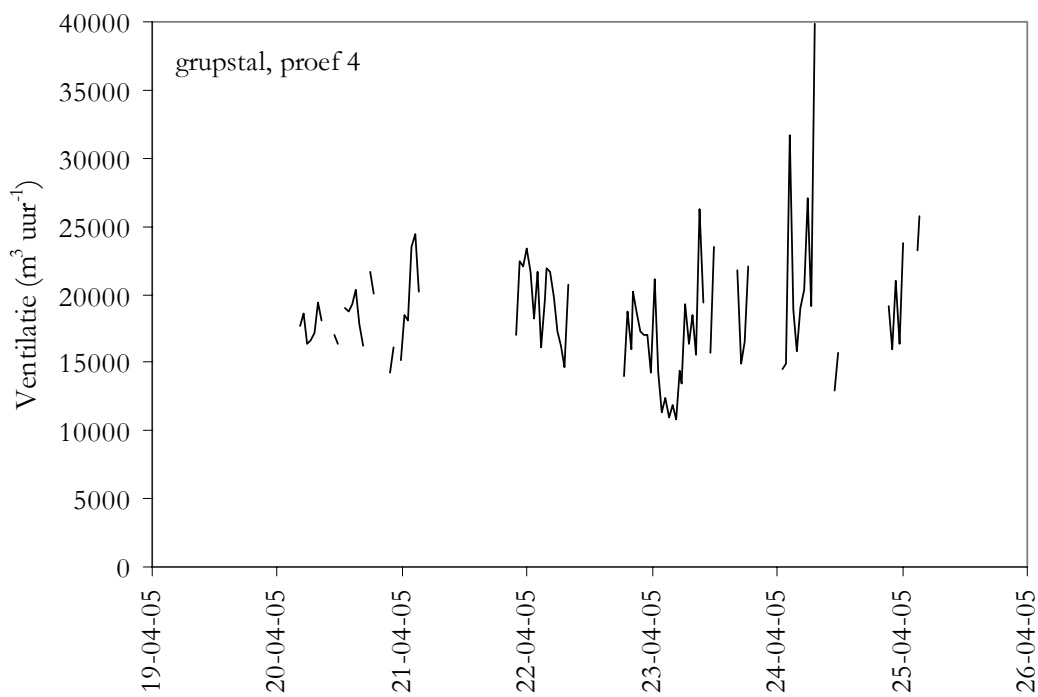
Figuur H3 Uurgemiddelden ventilatiedebiet in de ligboxenstal voor proef 3



Figuur H4 Uurgemiddelden ventilatiedebiet in de ligboxenstal voor proef 4

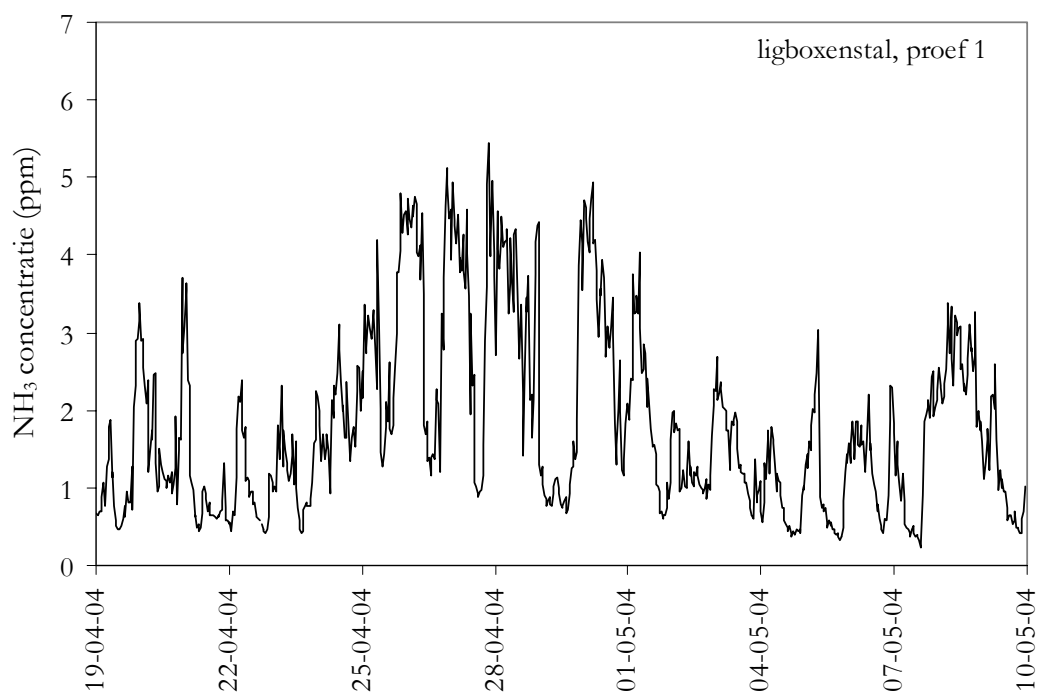


Figuur H5 Uurgemiddelden ventilatiedebiet in de grupstal voor proef 3

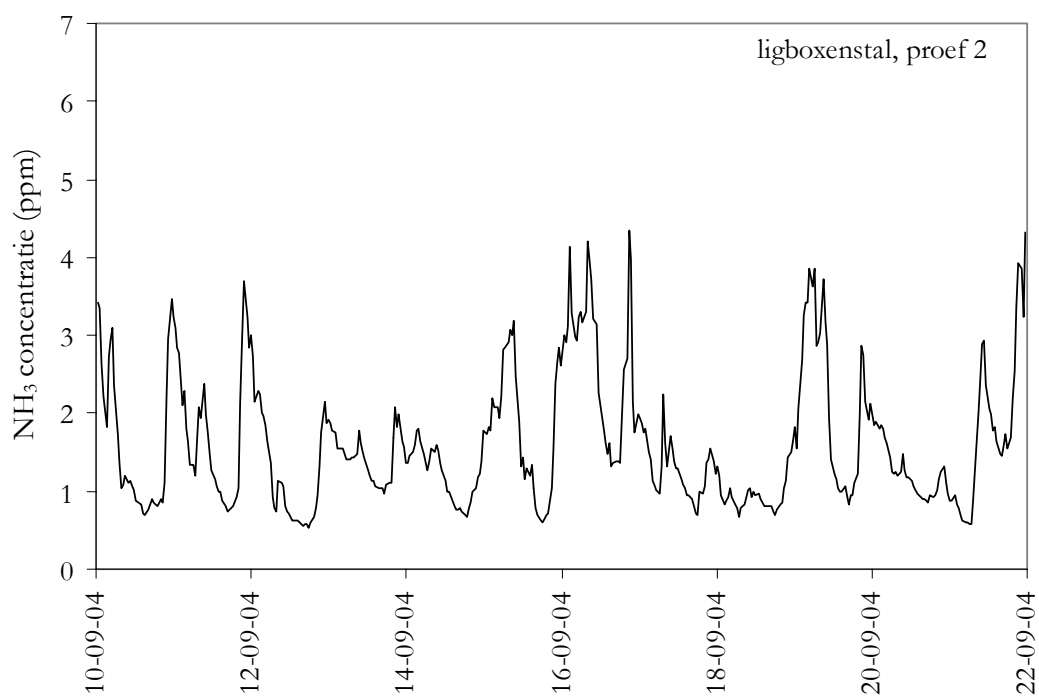


Figuur H6 Uurgemiddelden ventilatiedebiet in de grupstal voor proef 4

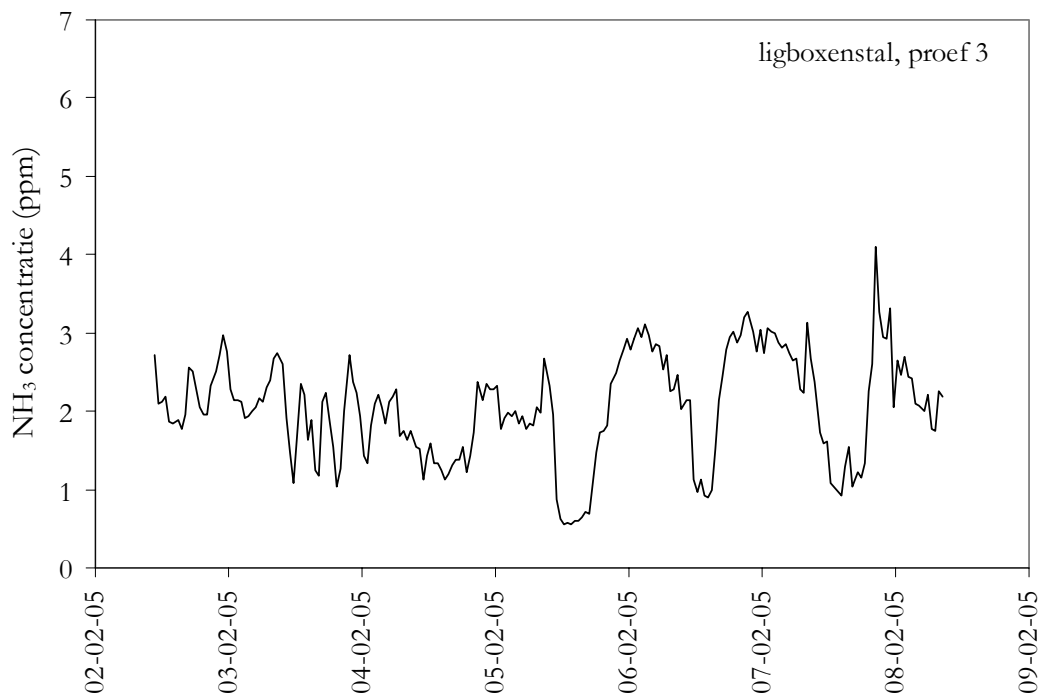
Bijlage I Ammoniakconcentratie



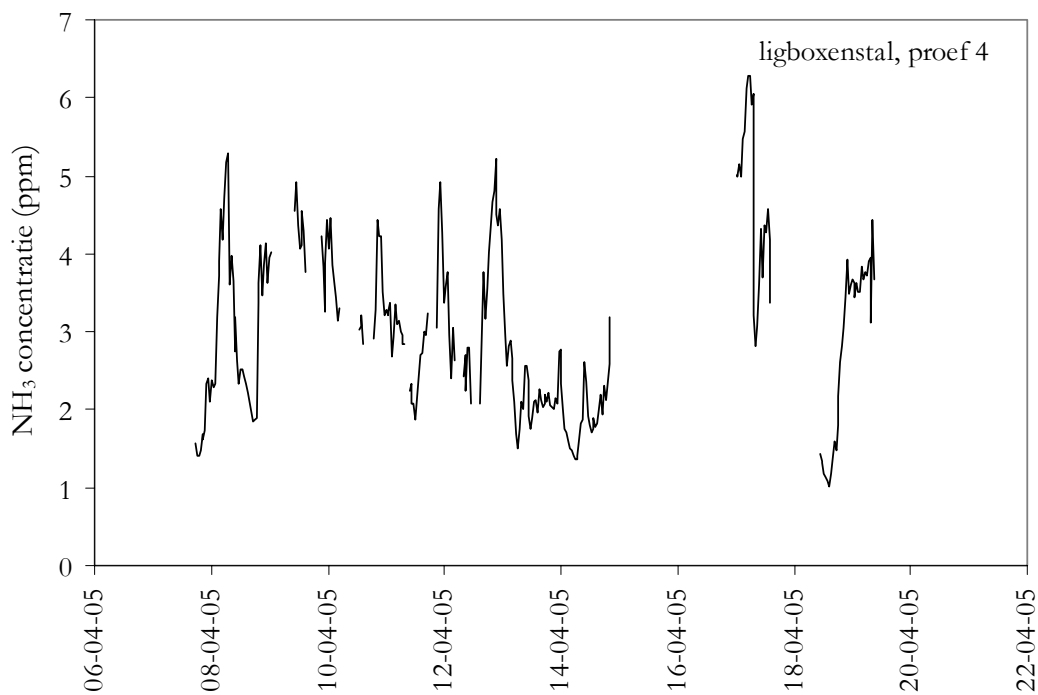
Figuur I1 Uurgemiddelden ammoniakconcentratie in de ligboxenstal voor proef 1



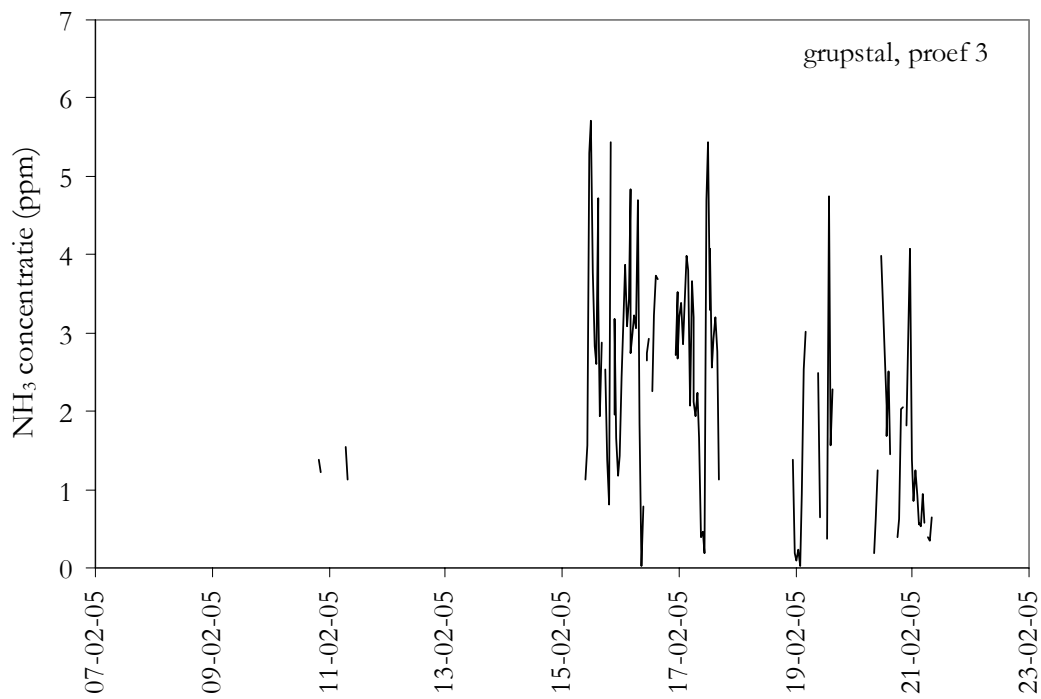
Figuur I2 Uurgemiddelden ammoniakconcentratie in de ligboxenstal voor proef 2



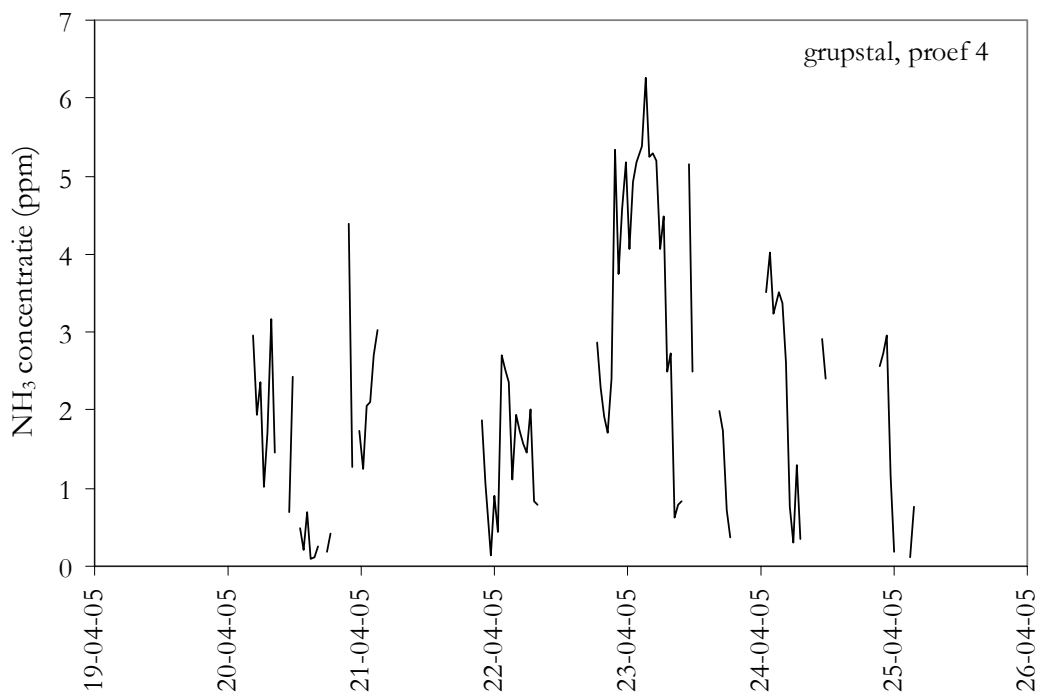
Figuur I3 Uurgemiddelden ammoniakconcentratie in de ligboxenstal voor proef 3



Figuur I4 Uurgemiddelden ammoniakconcentratie in de ligboxenstal voor proef 4

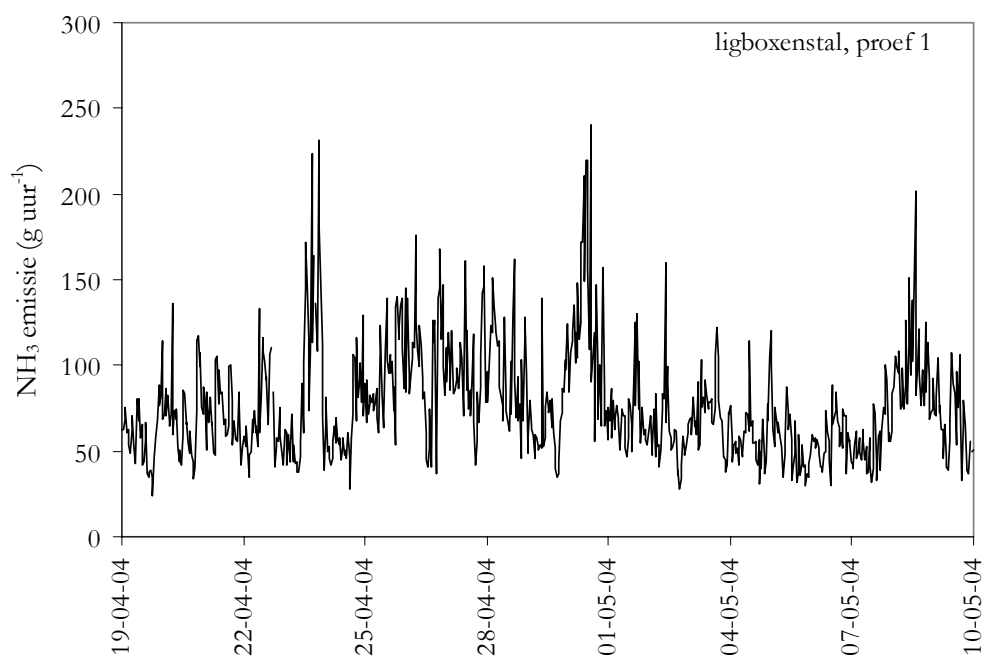


Figuur I5 Uurgemiddelden ammoniakconcentratie in de grupstal voor proef 3

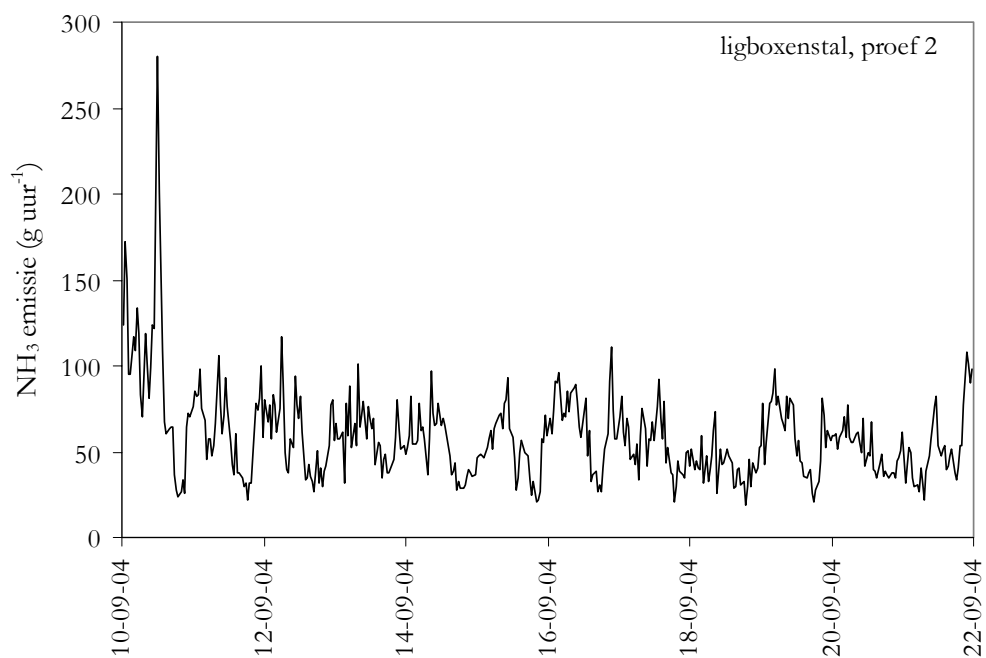


Figuur I6 Uurgemiddelden ammoniakconcentratie in de grupstal voor proef 4

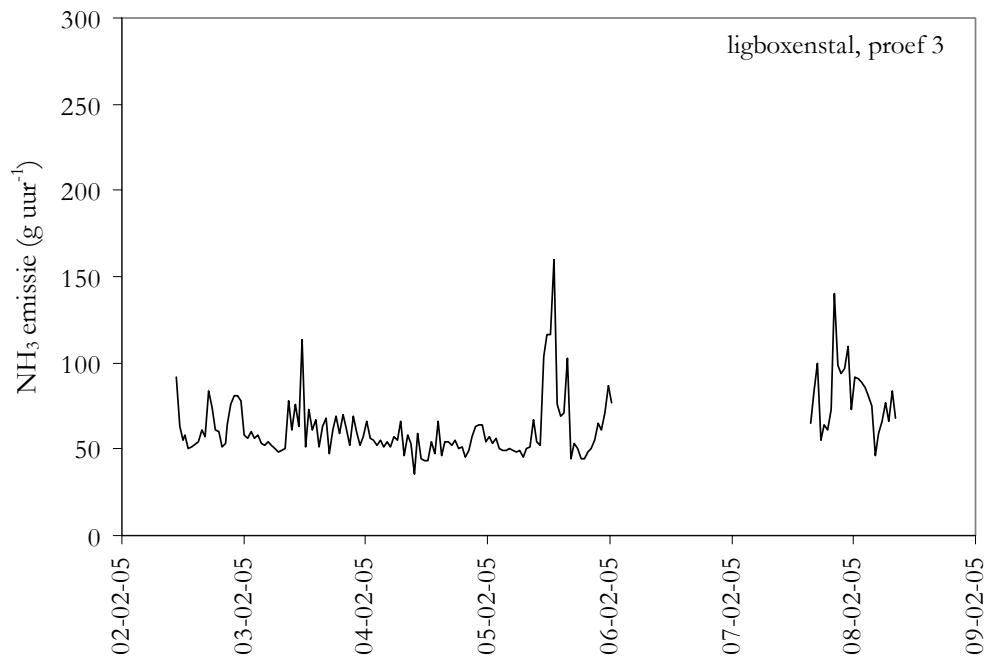
Bijlage I Ammoniakemissie



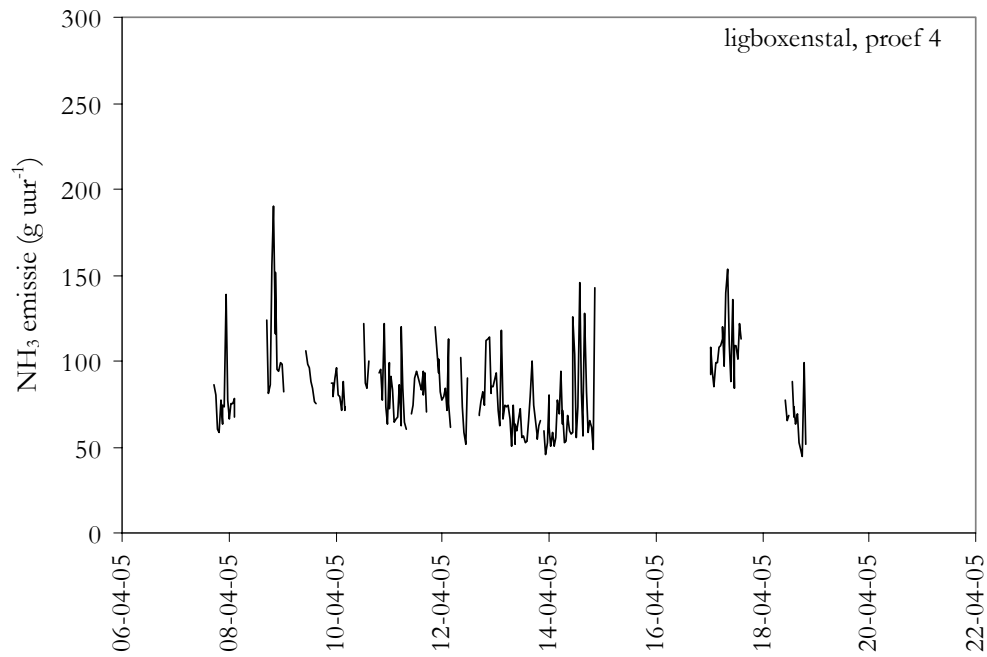
Figuur J1 Uurgemiddelden ammoniakemissie in de ligboxenstal voor proef 1



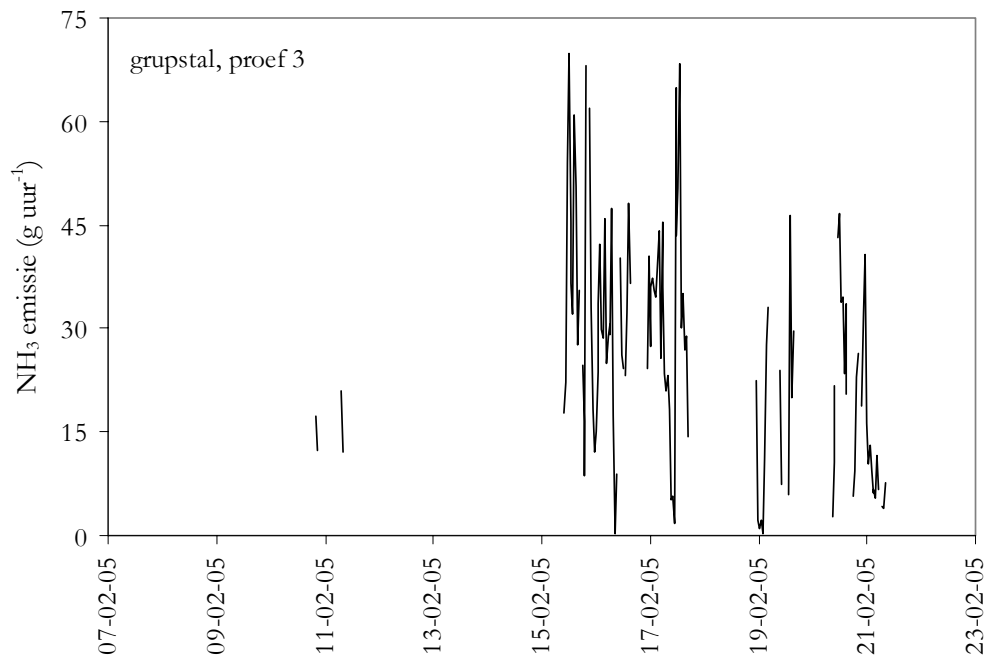
Figuur J2 Uurgemiddelden ammoniakemissie in de ligboxenstal voor proef 2



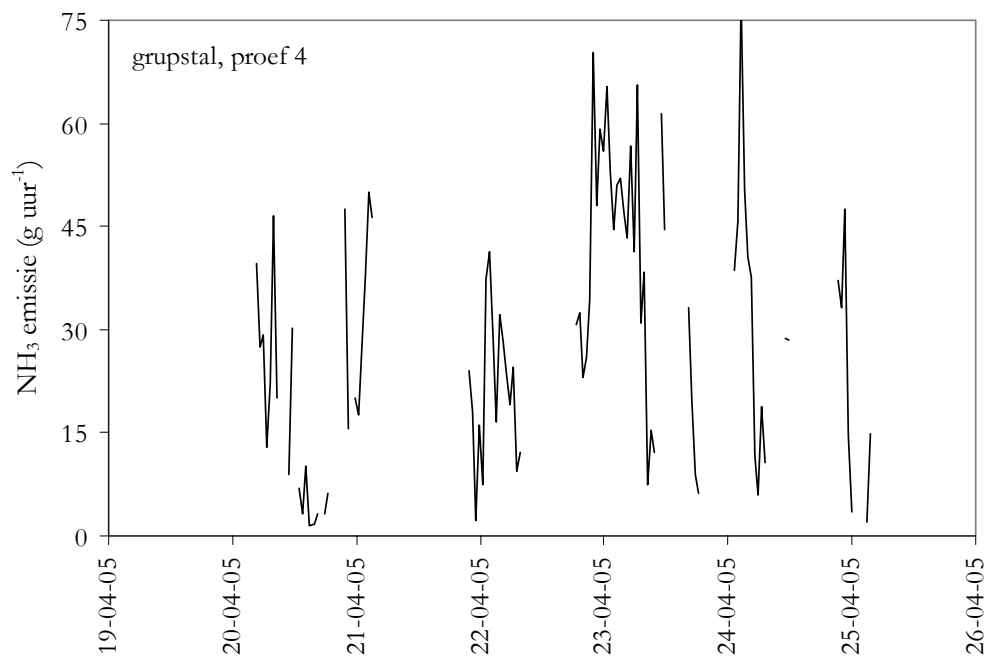
Figuur J3 Uurgemiddelden ammoniakemissie in de ligboxenstal voor proef 3



Figuur J4 Uurgemiddelden ammoniakemissie in de ligboxenstal voor proef 4



Figuur J5 Uurgemiddelden ammoniakemissie in de grupstal voor proef 3



Figuur J6 Uurgemiddelden ammoniakemissie in de grupstal voor proef 4