

Onderzoek naar de emissies van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee I

Stal

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

Rapport 324



Onderzoek naar de emissies van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee I

Stal

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

Rapport 324

Colophon

Title	Onderzoek naar de emissies van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee I Stal
Author(s)	J. Mosquera, J.M.G. Hol en J.W.H. Huis in 't Veld
A&F number	324
ISBN-number	90-6754-877-4
Date of publication	January 2005
Confidentiality	N/A
Project code.	630.53010.01

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

Biological farming is gaining interest of society and politics. In this perspective, research was conducted into the emissions of ammonia and greenhouse gases (methane and nitrous oxide) from the barn and the outdoor storage of solid manure (Farm Yard Manure) on a biological dairy farm in the Netherlands. The measured emissions from the barn are presented in this report. On this farm, 49 dairy cattle and their corresponding calves were kept in a naturally ventilated deep-litter housing system. Grazing occurred between May and October. The winter diet consisted of 100% grass/clover silage.

Gaseous emissions from the barn were measured using the internal tracer gas ratio method during two periods where the animals were permanently in the animal house (January and November), and two periods during the grazing season (May and September). On average, 13.9 kg NH₃ per cow were emitted from the barn. This is higher than the emission levels for traditional dairy farms (9 kg NH₃ per cow). On average, 1.3 kg CH₄/day per cow, 2.5 g N₂O/day per cow and 16 kg CO₂/day per cow were emitted from the barn. The average odour emission was 73 OU_E/s per cow.

Keywords: deep litter, animal house, emission, ammonia, methane, nitrous oxide, odour

Inhoud

Abstract	3
1 Inleiding	7
2 Materiaal en methode	9
2.1 Stal en bedrijfssituatie	9
2.1.1 Bedrijfssituatie	9
2.1.2 Huisvesting	9
2.1.3 Ventilatie	9
2.2 Bedrijfsvoering	10
2.2.1 Zoötechniek	10
2.2.2 Mestopslag	10
2.2.3 Klimaat	11
2.2.4 Voeding	11
2.3 Metingen	12
2.3.1 Algemeen	12
2.3.2 Klimaat	13
2.3.3 Interne tracergas ratiomethode	13
2.3.4 Tracergasinjectie en –concentratie	14
2.3.5 Ammoniakconcentratie	15
2.3.6 Geurconcentratie	15
2.3.7 Broeikasgassen	16
2.4 Dataverwerking	16
3 Resultaten	19
3.1 Mestopslag en urine	19
3.2 Productiegegevens	20
3.3 Klimaat en luchtverversing	20
3.4 Ammoniakconcentratie en –emissie	21
3.5 Geurconcentratie en –emissie	22
3.6 Broeikasgassenconcentratie en –emissie	23
4 Discussie	25
5 Conclusies	29
Literatuur	31
Samenvatting	35
Bijlagen	39

1 Inleiding

Ammoniakvervluchtiging is de belangrijkste oorzaak van de stikstofverliezen, en speelt een grote rol in de verzuring van bodem, oppervlakte- en grondwater, eutrofiëring, en biodiversiteitverlies. In 2000 droeg de landbouw voor 94% bij aan de nationale emissie van NH_3 (RIVM and CBS, 2001). Stallen en mesttoediening zijn de belangrijkste landbouw bronnen voor ammoniakemissies (tabel 1). De EU heeft voor Nederland een ammoniakemissieplafond van 128 kton voor 2010 vastgesteld (EU, 2001). Om natuurgebieden te beschermen heeft de Nederlandse overheid voor 2010 tot doel gesteld de ammoniakemissie tot 100 kton te reduceren (VROM, 2001). De bijdrage van de landbouw aan de NH_3 emissie moet dan gedaald zijn tot 86 kton (Sliggers, 2001).

Tabel 1 NH_3 emissies uit de veehouderij in Nederland in het jaar 2000 uitgedrukt in % (Sliggers, 2001).

Stallen	46
Mesttoediening	41
Beweiding	9
Mestopslagen buiten de stal	3

Gasvormige stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen worden veroorzaakt door ammoniakvervluchtiging (NH_3 -vervluchtiging) en door de processen nitrificatie en denitrificatie, waarbij stikstofoxide (NO), lachgas (N_2O) en stikstofgas (N_2) kunnen vervluchtigen.

Ammoniakvervluchtiging treedt op als de uitgescheiden urine en mest wordt blootgesteld aan de lucht. De vervluchtiging is groter naar mate er meer stikstof aanwezig is in de urine en faeces, de temperatuur en pH van de mest hoger zijn en het contactoppervlak tussen enerzijds urine en mest en anderzijds de lucht groter is. Stikstofverliezen door (de)nitrificatie treden op indien zuurstof uit de lucht in de mest en urine kan dringen en de mest en urine daardoor gedeeltelijk aëroob worden. Nitrificerende bacteriën zetten dan ammoniumstikstof om in nitraatstikstof waarna denitrificerende bacteriën nitraatstikstof om kunnen zetten in stikstofgas (N_2). Daarbij ontwijken NO , N_2O en N_2 in hoeveelheden die vooral afhankelijk zijn van de aëratie van de mest.

In potstallen, waar de stalvloer voor het grootste deel bestaat uit strooiselrijke mest, kan de vervluchtiging van NO , N_2O en N_2 een belangrijke bron zijn van N-verlies. Echter hierover zijn weinig literatuurgegevens beschikbaar. In Oenema *et al.* (2000) zijn op basis van literatuurgegevens emissiepercentages voor de vervluchtiging van NO , N_2O en N_2 opgesteld, afhankelijk van mestsoort en huisvestingssystemen. Gesteld is dat de emissie van NO gelijk is aan die van N_2O , en dat de emissie van N_2 1 tot 10 keer groter is dan die van N_2O , afhankelijk van de aëratie van de mest. Voor de vaste mest uit potstallen zijn de volgende waarden (in procent van de hoeveelheid stikstof in de mest) aangenomen: NO (10%), N_2O (10%), N_2 (10%). Echter, de onzekerheid in deze getallen is relatief groot.

Deze studie bestaat uit twee delen namelijk, onderzoek naar de emissies in de stal en emissies tijdens de mestopslag buiten de stal. Het is gebruikelijk dat potstalmest enige tijd buiten de stal wordt opgeslagen om compostering van de mest mogelijk te maken. Met name in de biologische houderij is het gebruikelijk om gecomposteerde dierlijke mest als meststof te gebruiken. De potstal voor melkvee en de buitenopslag van potstalmest zijn beide systemen waarvan de emissies van NH_3 , N_2O , CH_4 en CO_2 niet vergelijkbaar zijn met reguliere landbouw. Het doel van dit onderzoek is om antwoord te krijgen op de volgende vragen:

- 1) wat is de emissie van NH_3 , N_2O , CH_4 en CO_2 uit de potstal
- 2) wat is de emissie van NH_3 , N_2O , CH_4 en CO_2 uit de buiten mestopslag

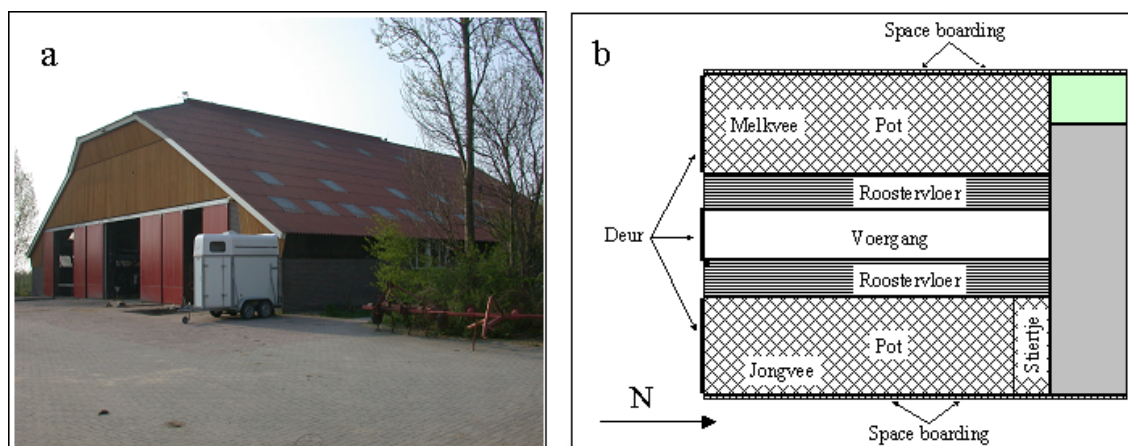
Dit rapport is deel 1 van het project “Onderzoek naar de emissies van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee”, en heeft als doel de emissies van NH_3 , N_2O , CH_4 , CO_2 en geur uit een potstal te kwantificeren. De onderzoekstal en de meetopstelling zijn in hoofdstuk 2 beschreven, en de resultaten worden in hoofdstuk 3 gerapporteerd en bediscussieerd. Hoofdstuk 4 geeft de conclusies en aanbevelingen van deze studie. In deel 2 van het project worden de emissie van NH_3 , N_2O , CH_4 en CO_2 uit de mestopslag buiten de stal gekwantificeerd.

2 Materiaal en methode

2.1 Stal en bedrijfssituatie

2.1.1 Bedrijfssituatie

De onderzoekstal (V.O.F Warmonderhof Stichting, Dronten) was een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee (figuur 1a). Het biologisch-dynamisch veehouderijbedrijf bestaat uit ca. 45 melkkoeien en bijbehorend jongvee, gehuisvest in een potstal. Het bedrijf beschikt over een melkquotum van 241.000 kg melk en circa 30 ha voedergewassen. De productie van de koeien is gemiddeld 5.800 kg melk per koe per jaar. De dieren werden tweemaal per dag gemolken. Het rantsoen bestond uit een gras/klover-silage, GPS (gehele planten silage), akkerbouw restproducten, wat natuurhooi en in de zomer weidegras. Het jongvee werd geweid in een natuurgebied van Staatsbosbeheer.



Figuur 1 Foto's en plattegrond van de potstal in Dronten

2.1.2 Huisvesting

In figuur 1b is de plattegrond van de stal weergegeven. De stal was 28,5 m breed, 27 m lang en ca. 10 m hoog. Hiervan was 142,5 m² in gebruik als melkput en tanklokaal. De stal werd door de voergang (dichte betonvloer, 4,5 m breed) gescheiden in 2 identiek ingerichte leefruimtes. Een leefruimte (342 m²) bestond uit een ingestrooide ligruimte, de zogenaamde pot (9 x 27 m) en een aangrenzende roostervloer (3 x 27 m). De pot kon maximaal 1,8 m dik worden. Het melkvee had de westelijke pot ter beschikking, het overige vee de oostelijke kant. Boven de roostervloer was aan beide zijden een strozolder aanwezig. Op de zolder werd het stro opgeslagen.

2.1.3 Ventilatie

De stal had een open nok in de lengterichting van de stal midden boven de voergang, en werd natuurlijk geventileerd door middel van luchtinlaten voorzien van space-boarding over de gehele lengte van de zijgevels van de stal en via de schuifdeuren aan de kopzijden van de stal.

2.2 Bedrijfsvoering

2.2.1 Zoötechniek

Tweemaal per dag werden de melkkoeien gemolken. Het melken nam ongeveer 1,5 uur in beslag en startte 's morgens om ca. 5:45 uur en 's avonds om ca. 16:00 uur. Na het melken werden de dieren ca. 1 uur vastgezet in het voerhek waarbij de dieren de mogelijkheid hadden om ruwvoer op te nemen. Dit werd gedaan om onrust in de stal te voorkomen. De belangrijkste bedrijfsvoering gegevens voor alle meetperioden worden in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2 Belangrijkste bedrijfsvoering gegevens gesplitst in stal- en weideseizoenen.

	Stalseizoenen		Weideseizoenen	
	Januari 2004	November 2003	Mei 2003	September 2004
Stalbezetting	Alle dieren in de stal	Alle dieren in de stal	Melkkoeien overdag weidegang, overig vee gehele dag in de stal	Melkkoeien overdag weidegang, overig vee gehele dag in de stal
Voeding	Ingekuild gras-klover en GPS	Ingekuild gras-klover en GPS	Overdag vers weidegras (gras-klover weide) en stalperiode ingekuild gras-klover	Overdag vers weidegras (gras-klover weide) en stalperiode GPS
Duur weidegang	n.v.t.	n.v.t.	7 uur	7 uur
Stroverstrekking	Tweemaal per dag gedurende het melken	Tweemaal per dag gedurende het melken	eenmaal per dag gedurende het avondmelken	eenmaal per dag gedurende het avondmelken

2.2.2 Mestopslag

Gedurende het stalseizoen (oktober – april) werd tweemaal per dag stro vanaf de zolder in de pot gebracht zodanig dat de toplaag van de pot geheel bedekt was met een schone laag stro. Bij het instrooien van de pot waren geen/nauwelijks dieren aanwezig omdat dit rondom melktijd werd uitgevoerd. In het weideseizoen (mei-september) werd eenmaal per dag, onder het avondmelken (ca. 17:00) de pot ingestrooid. Het oostelijk deel van de potstal (jongvee en droge melkkoeien) werd in het stal- en weideseizoen eenmaal per dag (tijdens avondmelken) ingestrooid. Tweemaal per jaar, in de zomer en herfst werd de inhoud van de pot van beide leefruimtes verwijderd en werd buiten opgeslagen om daar te composteren, hoewel geen extra bewerkingen zijn toegepast om de compostering processen te stimuleren. De opslagplaats van de mest varieerde en was afhankelijk van het perceel wat bemest moest worden. Figuur 2 laat zien het hoogteverschil in de stal voor en na het leegmaken van de pot.



Figuur 2 De westelijke potruimte voor en na het opslagen van de pot buiten de stal.

2.2.3 *Klimaat*

De stallen werden natuurlijk geventileerd en hadden geen verwarming. Naar gelang de weersomstandigheden en het aantal dieren in de stal werden inlaatopeningen handmatig groter of kleiner gemaakt (deuren verder open of dicht). Voor de uitvoering van de metingen zijn de deuren bij de uitgang van de pot gesloten gehouden (bij zeer grote lichtsnelheden is het onmogelijk om met de gebruikte meetmethode correct te meten).

2.2.4 *Voeding*

Het voerrantsoen bestond in het stalseizoen uit onbeperkt ingekuuld gras-klover handmatig gemengd met gehele plantsilage (GPS). De GPS bestond uit gehakseld gerst. Het ruwvoer werd 4 maal per dag ververs.

In het weideseizoen werden de dieren voornamelijk alleen gedurende de dag geweid. Echter gedurende een korte periode werd ook dag en nacht geweid, maar gezien het risico van trommelzucht bij de kloverweide werd over het algemeen beperkt beweid. Bij de weidegang werd gedurende de stalperiode GPS gevoerd wanneer dit op het bedrijf aanwezig was. Anders werd ingekuuld gras-klover en/of hooi bijgevoerd. Er werd geen krachtvoer verstrekt. In tabellen 3 en 4 staan de gemiddelde samenstelling van de verschillende voeders en de geschatte hoeveelheden opgenomen voer en het ingestrooide stro genoemd.

Tabel 3 Samenstelling en voederwaarde van de verschillende voeders.

	Drogestof (g/kg)	Ruw eiwit (g/kg ds)	VEM (g/kg ds)	DVE (g/kg ds)	OEB (g/kg ds)
Ingekuuld gras-klover 2 ^e snee 2002 ⁽¹⁾	403	171	864	70	47
Ingekuuld gras-klover 1 ^e snee 2003 ⁽¹⁾	450	180	818	68	39
Ingekuuld gras-klover 2 ^e snee 2003 ⁽¹⁾	342	154	772	53	45
GPS 2003 ⁽¹⁾	331	55	793	36	-33
GPS 2004 ⁽¹⁾	325	72	809	35	-22
Gras-klover weide ⁽³⁾	160	182	1028	102	13
Stro ⁽²⁾	840	-	-	-	-

⁽¹⁾bedrijfsgegevens (kuilanalyse) ⁽²⁾gegevens centraal veevoederbureau (2000)

⁽³⁾gegevens Blgg Oosterbeek (www.blgg.nl)

Tabel 4 Inschatting van de voeropname (kg ds) van het melkvee en het stroverbruik gedurende de meetperioden.

	Stalseizoenen		Weideseizoenen	
	Januari 2004	November 2003	Mei 2003	September 2004
Ingekuild gras-klover 2 ^e snee 2002	-	-	3	-
Ingekuild gras-klover 1 ^e snee 2003	-	8	-	-
Ingekuild gras-klover 2 ^e snee 2003	8	-	-	1
GPS 2003	4	4	-	-
GPS 2004	-	-	-	2
Gras-klover weide	0	0	11	11
Stro	11	11	7	7

De opgenomen hoeveelheid voer werd ingeschat op basis van de informatie van de melkveehouder en gemiddelde opnamegegevens uit het Handboek voor de rundveehouderij (200?).

2.3 Metingen

2.3.1 Algemeen

Om de emissie van NH₃, CH₄, N₂O en geur te bepalen werd gebruik gemaakt van de interne tracergas ratiomethode. In Tabel 5 wordt per meetperiode de datum en het totaal aantal meetdagen vermeld.

Tabel 5 Belangrijkste bedrijfsvoering gegevens gesplitst in stal- en weideseizoenen.

	Stalseizoenen		Weideseizoenen	
	Januari 2004	November 2003	Mei 2003 ⁽¹⁾	September 2004
Start metingen	27 januari 2004	6 november 2003	21 mei 2003	1 september 2004
Einde metingen	2 februari 2004	13 november 2003	5 juni 2003	6 september 2004
Aantal meetdagen	5	6	14	4

⁽¹⁾Vanwege slechte weeromstandigheden op 24 en 25 mei, bleven de melkkoeien op deze dagen binnen

Gedurende de metingen in de stal zijn de volgende variabelen continu gemeten:

1. NH₃ concentratie (ppm) van stallucht en achtergrond
2. Tracergas (SF₆) concentratie (ppb) van stallucht en achtergrond
3. Temperatuur (°C) in de stal en buiten de stal
4. Relatieve luchtvochtigheid (%) in de stal en buiten de stal
5. Windsnelheid (m.s⁻¹) en windrichting

In Bijlage A is een schematische weergave opgenomen van de meetopstelling voor de continue metingen. De meetopstelling was geautomatiseerd met data-acquisitieapparatuur die door een industriële PC werd aangestuurd. Het besturingsprogramma voor de data-acquisitie was met Notebook Pro (versie 10.1) van de firma Labtech ontwikkeld. De gaschromatograaf, gebruikt voor bepaling van de tracergasconcentratie, werd aangestuurd door Chrom-Card software. De Notebook Pro-applicatie registreerde alle meetwaarden, inclusief de tracergasconcentraties die

door Chrom-Card-software uitgelezen werden. Wekelijks werd de meetapparatuur gekalibreerd. Alle veranderingen en werkzaamheden werden in een logboek bijgehouden.

Naast de continu metingen werden ook de volgende metingen (niet continu) en registraties uitgevoerd:

1. Broeikasgassen (CO_2 , CH_4 , N_2O) concentraties van stallucht en achtergrond (gemiddelde over een dag)
2. Geurconcentratie van de stallucht (gemiddelde over 2 uren)
3. Samenstelling verse urine van de melkkoeien
4. Temperatuur van de pot
5. Gemiddelde melkproductie en samenstelling van de melk

Om een inzicht te krijgen in de samenstelling van de pot werden tijdens het leegmaken van de pot op 24 juni 2003 verschillende mestmonsters genomen. Hiervoor werd de pot verdeeld in 2 lagen, namelijk de toplaag (min of meer losse structuur) en een onderlaag (zeer verdicht). De mestmonsters werden geanalyseerd door milieulaboratorium van A&F (geaccrediteerd onder nummer L313 door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van chemische analyses). De mest werd geanalyseerd op Totaal-N, $\text{NH}_4\text{-N}$, drogestof en pH.

2.3.2 *Klimaat*

De temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) en de relatieve luchtvochtigheid (%) werden continu gemeten met temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic Hygrometer $\text{\textcircled{R}}$). De nauwkeurigheid van deze sensoren was $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ en $\pm 2\%$. De metingen werden gedaan op 2 plaatsen in de stal en op één plaats buiten de stal. De sensoren in de stal hingen aan de oost- en aan de westzijde van de stal, op ongeveer 2,5 meter hoogte. De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht werden gemeten in de schaduw aan de zuidzijde van de stal op circa 2 meter hoogte. De sensoren werden regelmatig gecontroleerd.

Windsnelheid en windrichting werden gemeten met behulp van een meteomast die boven de meetwagen werd geplaatst. De windvaan was van het type W200P en de anemometer van het type A100R beide van fabrikant Vector Instruments.

2.3.3 *Interne tracergas ratiomethode*

De interne tracergas ratiomethode gaat uit van de aanname dat een geïnjecteerd tracergas en het gas waarvan de emissie bepaald moet worden, in dit geval ammoniak, broeikasgassen en geur, zich op dezelfde manier door de stal verspreiden en zo een vergelijkbaar concentratieprofiel in de stal geven. Onder deze aanname is de verhouding van de bronsterkten van beide gassen direct terug te vinden in de verhouding van de gemeten gasgehalten. In het onderhavige meetobject werd verondersteld dat de ammoniak, broeikasgassen en geur vrijkomen vanaf de vloer van de mestruimte. Uitgangspunt is wel dat alle gevormde ammoniak, broeikasgassen en geur uiteindelijk de stal verlaat en daarmee de bronsterkte van deze gassen gelijk te stellen is aan de ammoniak-, broeikasgassen- en geuremissie.

Uit de gemeten tracergas injectiehoeveelheid (Q_{tr}) en de concentratieverschillen tussen binnen- en buitenlucht voor tracergas (ΔC_{tr}) en ammoniak, broeikasgas of geur (ΔC_{gas}) kan de emissie (E_{gas}) uit navolgende vergelijking berekend worden:

$$E_{gas} = \frac{\Delta C_{gas}}{\Delta C_{tr}} * Q_{tr}$$

De voornaamste voorwaarden voor emissiebepalingen volgens deze methode zijn dat:

- het tracergas nabij de bron wordt geïnjecteerd;
- het verschil in dichtheid van het ingeblazen gasmengsel en de stallucht minimaal is;
- de lucht in de stal representatief bemonsterd wordt.

In Bijlage B en in Mosquera *et al.* (2002) wordt de gehanteerde meetmethode meer uitgebreid beschreven.

2.3.4 Tracergasinjectie en –concentratie

In de meetwagen werden met behulp van twee thermische Mass Flow Controllers (MFC) zuiver SF₆-gas en droge perslucht met elkaar gemengd. Dit luchtmengsel werd door een ringleiding met speciaal ontworpen injectiepunten in de stal gebracht. In ieder injectiepunt was een orifice (plaatje met zeer kleine doorstroomopening) geplaatst. Hierdoor werd het tracergas gelijkmatig over de 9 injectiepunten in de stal verdeeld. De injectiepunten bevonden zich aan beide zijden van de stal op de scheiding tussen pot en roostervloer. De injectiepunten waren variabel in hoogte verstelbaar en werden op ca. 5 cm boven de pot aangebracht. De doorstroming van ieder injectiepunt werd wekelijks gecontroleerd. Voor de injectie van het tracergas werd voor aanvang van de metingen een ijkcurve van de betreffende Mass Flow Controller opgesteld. Deze ijkcurve werd gebruikt voor de bepaling van de injectiehoeveelheid.

De stallucht werd bemonsterd via twee 1/4” polyethyleen verzamelleiding. Deze verwarmde en geïsoleerde leidingen hingen in het midden van de stal, circa 4 m onder de nok, en op circa 6 m hoogte. Na de eerste meetperiode (mei 2003) werd de verzamelleiding verhoogd naar 9 meter hoogte. De vrije luchtstroom rond de verzamelleiding werd hiermee verbeterd. Verdeeld over de lengte van de stal werd op 5 plaatsen stallucht aangezogen. Op ieder aanzuigpunt was een kritisch capillair aangebracht zodat de aangezogen hoeveelheid stallucht op ieder punt circa 600 ml.min⁻¹ was. Aan de buitenkant van de stal, aan de oost- en aan de westzijde, werd de buitenlucht bemonsterd op 2 m hoogte. Ook deze PE-leidingen werden verwarmd en geïsoleerd.

Voor de bepaling van de tracergas (SF₆) concentraties werd gebruik gemaakt van een gaschromatograaf (Fisons Instruments, model 8000), voorzien met een ECD (Electron Capture Detection) detector. De GC werd wekelijks gekalibreerd met een gecertificeerd ijkgas van SF₆ in N₂ (50,5 ppb; ± 2%). De resultaten van de kalibraties van de GC zijn vermeld in Bijlage C. De

tracergasconcentraties werden gecorrigeerd voor de gaschromatograaf kalibraties. Gedurende de meetperiodes werd enkele malen de SF₆-concentratie gemeten met behulp van een canister. In het milieulaboratorium van het A&F werd de concentratie met een gaschromatograaf gemeten.

2.3.5 *Ammoniakconcentratie*

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.

2.3.6 *Geurconcentratie*

Voor het meten van de geurconcentratie werd lucht vanaf een punt in het midden van de nok via de zogenaamde longmethode 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 geurpanel, 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 beter aan bij de internationale literatuur op het betreffende vakgebied.

2.3.7 Broeikasgassen

Met behulp van een canister (een verzamelvat van ca. 1 liter) werd in de verschillende meetperioden enkele malen de broeikasgasconcentraties van CO₂, N₂O en CH₄ gemeten. 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 capillair werd de bemonsteringstijd bepaald. In het milieulaboratorium van A&F werden de concentraties met een gaschromatograaf gemeten.

2.4 Dataverwerking

De ammoniakemissie uit de stal werd berekend volgens de interne tracergas ratiomethode. Hieronder volgt een puntsgewijs overzicht hoe bij de berekening te werk is gegaan. Voor de hierbij gebruikte formules en achtergrondinformatie wordt verwezen naar Bijlage B.

- geregistreeerde meetwaarden werden omgerekend naar uurgemiddelde waarden voor de betreffende fysische grootheden;
- de hoeveelheid geïnjecteerd tracergas (SF₆) werd bepaald aan de hand van het gemiddelde van de ijkcurves die voor aanvang en na afloop van de metingen voor de betreffende Mass Flow Controller werden opgesteld;
- de uurgemiddelde ammoniakconcentraties werden gecorrigeerd voor de rendementen van de converters en voor het verloop van de NO_x-monitor dat uit de kalibraties met ijkgas volgde;
- de uurgemiddelde ammoniakconcentraties in ppm werd met een factor 0,76 (bij 0 °C en 1 atm.) omgerekend naar mg ammoniak per m³ lucht (Weast *et al*, 1986);
- de uurgemiddelde tracergasconcentraties werden aan de hand van de wekelijkse kalibraties met een ijkgas lineair gecorrigeerd voor het verloop van de gaschromatograaf tussen twee kalibraties;
- de mengfactor (K_M, m³/uur) werd berekend uit de verhouding tussen het SF₆-injectieniveau en de gemeten verschilconcentratie van SF₆;
- missende uurwaarnemingen (als gevolg van kalibraties, technische storingen of onbetrouwbaarheid) van tracergas- en ammoniakconcentraties, temperaturen en relatieve luchtvochtigheden werden niet geïnterpoleerd;
- de NH₃-bronsterkte werd berekend door het SF₆-injectieniveau te vermenigvuldigen met de verhouding tussen NH₃- en SF₆-concentratieverschillen tussen binnen- en buitenlucht;
- uit de uurwaarnemingen werden daggemiddeldes berekend. Indien een daggemiddelde emissie (g/uur) uit minder dan 20 uurwaarnemingen bestond werd deze gehele dag als missend beschouwd.

De ammoniakemissie werd verondersteld gelijk te zijn aan de aldus berekende NH₃-bronsterkte van de stal. De berekende bronsterktes voor NH₃ wordt doorgerekend naar emissies uitgedrukt in g per koe per dag. Bij melkvee is het jaar opgedeeld in een stalperiode van 190 dagen en een weideperiode van 175 dagen. De emissie per jaar per dier (emissiefactor) wordt berekend door de emissie in beide seizoenen gewogen te verrekenen. Hiervoor worden alle dieren opgerekend, op

basis van de forfaitaire excretie van stikstof, naar aanwezige diereenheden (NGE) volgens Tamminga *et al.* (2000). In tabel 6 worden de omrekeningsfactoren gegeven en de doorberekening naar de verschillende meetperioden. De berekende emissiefactor voor ammoniak werd vergeleken met de emissiefactor melkkoeien in traditionele ligboxenstallen inclusief beweiding code A 1.6.1 (VROM, 2004).

Tabel 6 Omrekeningsfactoren volgens Tamminga et al. (2000) voor de verschillende diergroepen en de hieruit berekende totale aantal diereenheden per meetperiode.

	<i>factor</i> NGE	Stalseizoen				Weideseizoen			
		Januari 2004		November 2003		Mei 2003		September 2004	
		dieren	NGE	dieren	NGE	dieren	NGE	dieren	NGE
Melkkoeien	1	54	51	41	41	52	52	48	48
Pinken >1 <2 jaar	0,644	14	9,0	8	5,2	0	0	0	0
Kalveren <1 jaar	0,320	4	1,3	8	2,6	9	2,9	15	4,8
Stieren >1 <2 jaar	0,644	1	0,6	1	0,6	1	0,6	1	0,6
Totaal	-	73	61,9	58	49,4	62	55,5	64	53,4

Het verloop in de tijd van de daggemiddelde ammoniakemissie voor alle meetdagen over alle meetperioden werd gebruikt om inzicht te krijgen in de ammoniakemissiepatronen en mogelijke seizoenseffecten in kaart te brengen. Om het dagpatroon zichtbaar te maken werd eerst voor elke meetperiode van ieder uur op een dag het gemiddelde berekend van de gemeten emissies van dat uur op elke meetdag. Daarna werd per seizoen (stal en weide) voor ieder uur van de dag een gemiddelde berekend uit de 2 meetperioden per seizoen. Tenslotte werd de gemiddelde uuremissie op een uur van een dag gedeeld door de gemiddelde emissie van een gehele dag (deze werd berekend door de gemiddelde uurswaarnemingen op te tellen en door 24 te delen). Hiermee wordt de contributie van een bepaald uur op de totale dagemissie berekend en dit resultaat wordt per seizoen weergegeven in een figuur.

De geuremissie (OU_E/s) werd berekend als het product van geurconcentratie (OU_E/m^3) en de mengfactor K_m (m^3/uur) gedeeld door 3600 (aantal seconden per uur). Per geuremissie werd het natuurlijk logaritme (\ln) berekend en deze werden gemiddeld. Dit geometrisch gemiddelde werd vervolgens weer door omzetting via de exponentiële functie op normale schaal uitgedrukt. Tenslotte werd de geuremissie per berekende melkkoe berekend.

De emissie van de broeikasgassen werd berekend als het product van de gemeten concentraties van CH_4 , N_2O en CO_2 (ppm) en de tegelijkertijd gemeten mengfactor (m^3/min). Het uiteindelijke resultaat wordt uitgedrukt in g per koe per dag. De broeikasgasconcentraties in ppm werden met de factoren 0,71 (CH_4); 1,96 (N_2O) en 1,96 (CO_2) omgerekend bij 0 °C en 1 atm. naar mg broeikasgas per m^3 lucht (Weast *et al.*, 1986).

3 Resultaten

3.1 Mestopslag en urine

Tijdens het ontmesten op 24 juni 2003 werd de samenstelling van de pot door middel van verzamelen van mestmonsters bepaald. Er werd een scheiding gemaakt tussen de bovenste laag (bovenste 10 cm) en de onderste laag (beneden de 10 cm) van de pot. Het verschil tussen beide lagen was zichtbaar door een open structuur bovenin met vaak nog duidelijk zichtbaar stro en mestdelen. Het onderste deel was sterk samengeperst en min of meer uniform van kleur. De twee mestlagen laten een duidelijk verschil in samenstelling zien waarbij het lage $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalte in de bovenste laag opvalt (tabel 7). Het mengmonster bevatte een hoog N-gehalte (vergelijkbaar met de toplaag) en een hoog $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte (vergelijkbaar met de onderlaag). Dit zou kunnen betekenen dat de toegepaste procedure om de verschillende lagen te mengen niet effectief genoeg was om een homogeen en representatief mengmonster te maken. Ten opzichte van dunne rundveemengmest was het N-gehalte hoog en het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte laag.

Tabel 7 Indicatie van de samenstelling van de pot op het moment van ontmesten (24 juni 2003).

	Totaal-N (g/kg)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (g/kg)	Drogestof (g/kg)	pH (-)
Bovenlaag pot (ca. bovenste 10 cm)	6,1	0,1	291	8,6
Onderlaag pot (vanaf 10 cm tot de bodem)	4,9	1,2	172	8,4
Mengmonster totale pot	6,2	1,3	224	8,4

Op een aantal dagen gedurende de meetperioden werd verse urine van de melkkoeien opgevangen. De monsters werden geanalyseerd op ureum-N, totaal-N, $\text{NH}_4\text{-N}$ en pH (tabel 8). Met name het gehalte aan ureum-N geeft inzicht in de N-verliezen uit het voer. Uit de ureum-N gehalte valt op te maken dat in het weideseizoen een groter overschot N aanwezig was in het rantsoen. Dit wordt veroorzaakt door het verse weidegras dat rijk is aan stikstof.

Tabel 8 Samenstelling van de verse urine en de temperatuur van de pot op 2 niveau's per meetperiode.

	Stalseizoen		Weideseizoen	
	Januari 2004	November 2003	Mei 2003	September 2004
Urine				
Ureum-N (g/kg)	3,4	2,6	5,2	5,7
Totaal-N (g/kg)	5,0	4,8	6,3	7,9
$\text{NH}_4\text{-N}$ (g/kg)	0,03	0,03	0,03	0,04
pH (-)	8,6	8,6	8,8	8,5
Temperatuur pot				
Bovenlaag	-	-	15	-
Onderlaag	-	45,8	43	-

3.2 Productiegegevens

In tabel 9 is een overzicht gegeven van de ureumgehalte van de tankmelk. Door van Duinkerken et al (2003) is de relatie onderzocht tussen de ammoniakemissie en ureumgehalte van de tankmelk en het blijkt dat een hoger ureumgehalte in de tankmelk resulteerde in een hogere ammoniakemissie (onder vergelijkbare omstandigheden). Dit zou voor de huidige metingen betekenen dat in november 2003 de hoogste stalemissie moet zijn gemeten en in januari 2004 de laagste.

Tabel 9 Melkproductie per dag en de samenstelling van de melk.

Meetperiode	Stalseizoen		Weideseizoen	
	Januari 2004	November 2003	Mei 2003	September 2004
Ureum (mg/l)	14	32	16	22

3.3 Klimaat en luchtverversing

In Tabel 10 zijn voor beide stallen de gemiddelde temperatuur, de relatieve luchtvochtigheid en de berekende mengfactor per geplaatst dier tijdens de gemeten periodes weergegeven. De mengfactor wordt hier als maat voor het ventilatiedebiet gebruikt.

Tabel 10 Gemiddelde temperatuur en relatieve vochtigheid (RV) buiten en in de stal en ventilatiedebiet per melkkoe en per NGE voor de gemeten periodes.

	Stalseizoen		Weideseizoen	
	Januari 2004	November 2003	Mei 2003	September 2004
Buitemtemperatuur (°C)	5,3	7,5	18,8	18,9
Staltemperatuur (°C)	8,9	11,4	21,4	22,0
RV buiten (%)	97,4	94,3	82,6	75,4
RV stal (%)	94,0	92,5	80,3	81,6
Windsnelheid (m/s)	4,6	2,0	1,7	0,9
Ventilatiedebiet per dier (m ³ /uur per melkkoe)	3493	921	906	480
Ventilatiedebiet per dier (m ³ /uur per NGE)	2876	765	849	431

In Bijlagen F en G zijn de daggemiddeldes van de temperatuur en van de relatieve luchtvochtigheid van de stallucht en van de buitenlucht in een grafiek uitgezet. In Bijlage H zijn de uurgemiddeldes van de ventilatiedebiet (m³/uur) voor alle meetperiodes grafisch weergegeven. Het stalseizoen loopt globaal van half oktober tot begin april, in de 2 meetperiodes was de gemiddelde buitemtemperatuur normaal tot zacht voor de tijd van het jaar (KNMI, 2004). Voor het weideseizoen (april tot half oktober) was de gemiddelde buitemtemperatuur voor beide meetperiodes hoog (KNMI, 2004). Bij natuurlijk geventileerde stallen is het effect van de windsnelheid op het ventilatiedebiet groot, een hoge windsnelheid resulteert meestal in een hoog ventilatiedebiet. In januari 2004 was de gemiddelde windsnelheid hoog, 4,6 m/s met uitschieters naar 12 m/s, dit resulteerde in een zeer hoog ventilatiedebiet gedurende deze meetperiode. Een gemiddeld ventilatiedebiet voor natuurlijk geventileerde stallen voor melkvee (meestal

ligboxenstallen) ligt tussen de 700 tot 1500 m³/uur. De lage windsnelheid in september 2004 resulteerde in een laag ventilatie-debiet.

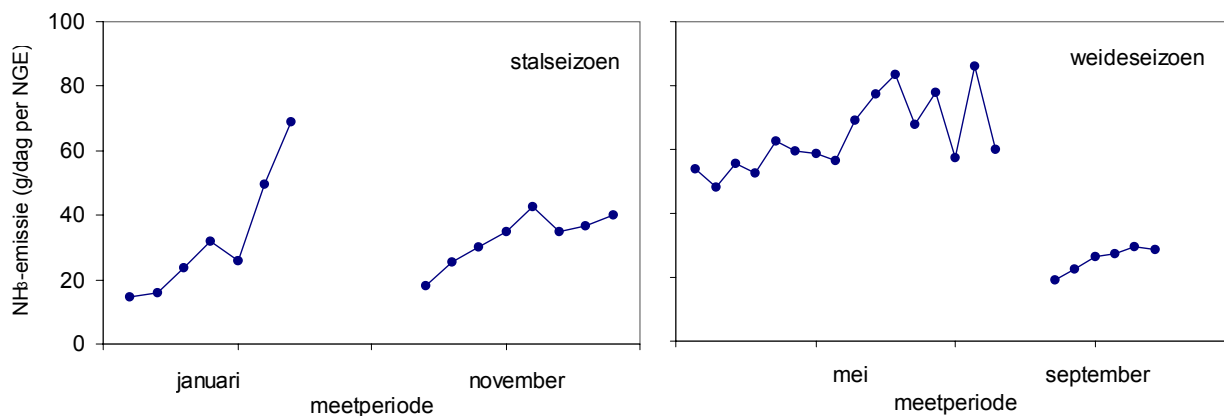
3.4 Ammoniakconcentratie en –emissie

In Bijlage I zijn de uurgemiddeldes van de ammoniakconcentratie in de potstal en van de buitenlucht voor alle meetperiodes grafisch weergegeven. In Tabel 11 wordt voor beide stallen een overzicht gegeven van de gemiddelde ammoniakconcentraties en –emissies tijdens beide meetperiodes.

Tabel 11 Aantal meetdagen, melkkoeien en NGE, en de gemiddelde NH₃-concentraties en -emissies

	Stalseizoen		Weideseizoen	
	Januari 2004	November 2003	Mei 2003	September 2004
Aantal meetdagen (-)	5	6	14	4
Aantal melkkoeien (-)	51	41	52	48
Aantal NGE (-)	61,9	49,4	55,5	53,4
NH ₃ -concentratie stal (mg/m ³)	0,75	1,96	3,94	2,62
NH ₃ -concentratie ingaande lucht (mg/m ³)	0,08	0,08	0,08	0,08
NH ₃ -emissie (g/uur)	79,9	68,6	145,1	58,0
NH ₃ -emissie (g/dag per NGE)	31	33	63	26

Op jaarbasis (stalperiode van 190 dagen, weideperiode van 175 dagen) is de ammoniakemissie van de potstal 15,8 kg per melkkoe per jaar (13,9 kg per NGE per jaar). In Figuur 3 is het verloop van de daggemiddelde ammoniakemissie uit de potstal voor de gemeten periodes weergegeven.



Figuur 3 Daggemiddelde NH₃-emissie per NGE uit de potstal voor de gemeten periodes.

Uit tabel 11 en figuur 3 blijkt dat het niveau en het verloop in emissie per meetperiode sterk verschilde. Het verschil in emissie tussen de verschillende meetperiodes wordt bepaald door een samenloop van factoren die de emissie beïnvloeden. Belangrijke factoren zijn: ventilatie-debiet, luchtbeweging in de stal, staltemperatuur, de hoeveelheid vervluchtigbare stikstof in de mest en urine. In figuur 4 wordt het dagelijks patroon van de emissie per seizoen weergegeven.



Figuur 4 Dagelijks patroon van de NH₃-emissie per seizoen, weergegeven als % van de gemiddelde dagemissie.

In sommige studies uit de literatuur werd een verband verondersteld tussen ammoniakemissie en melken (Groenestein en Montsma, 1991; Groenestein en Reitsma, 1993), het toevoegen van stro (Groenestein en Reitsma, 1993) of de weidegang van de koeien (Kroodsmā *et al.*, 1993). Uit de resultaten van het huidige onderzoek (figuur 4) zijn echter geen eenduidige effecten van de verschillende managementactiviteiten af te leiden. Waarschijnlijk wordt het effect op de ammoniakemissie van de aparte managementactiviteiten ondergeschikt aan overige emissie bepalende factoren (ventilatie, temperatuur)

3.5 Geurconcentratie en –emissie

In Tabel 12 worden de geurconcentraties en –emissies voor alle gemeten periodes weergegeven. Over alle gemeten periodes bedroeg de geometrisch gemiddelde geuremissie van de potstal 3946 OU_E/s (84 OU_E/s per koe, 73 OU_E/s per NGE). Vergelijkbaar onderzoek bij melkveehouderijbedrijven met ligboxenstallen 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 140 OU_E/s per dier.

Tabel 12 Aantal metingen, melkkoeien en NGE, en de gemiddelde geurconcentraties en -emissies

	Stalseizoen		Weideseizoen	
	Januari 2004	November 2003	Mei 2003	September 2004
Aantal meting (-)	1	2	2	2
Aantal melkkoeien (-)	51	41	52	48
Aantal NGE (-)	61,9	49,4	55,5	53,4
Geurconcentratie stal (OU _E /m ³)	115	666	335	254
Ventilatie debiet (m ³ /uur)	96.058	45.198	42.048	17.842
Geuremissie (OU _E /s)	3.068	8.313	3.759	1.259
Geuremissie per melkkoe (OU _E /s)	60,2	202,7	72,3	26,2
Geuremissie per NGE (OU _E /s)	49,5	168,4	67,7	23,6

Binnen de geurregeling (VROM en LNV, 1996; VROM 2003) in Nederland wordt de geuremissie van een stal vergeleken (omgerekend) 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). Voor de melkveehouderij zijn echter geen omrekeningsfactoren vastgesteld, waardoor de sector in de regelgeving te maken heeft met minimale afstanden tot woningen afhankelijk van de omgevingscategorie (50 tot 100 m).

3.6 Broeikasgassenconcentratie en –emissie

In Tabel 13 worden de concentraties en emissie voor methaan (CH₄), lachgas (N₂O) en koolstofdioxide (CO₂) voor beide gemeten periodes gegeven. De productie van CH₄ en N₂O is onafhankelijk van het ventilatie debiet in de stal, omdat deze gassen worden gevormd onder invloed van bacteriële omzettingen die niet (nauwelijks) geremd of gestimuleerd worden door de afvoer van het geproduceerde gas. CO₂ wordt met name door de dieren geproduceerd. De emissie was gemiddeld 16 kg/dag per dier. Dit is vergelijkbaar met de resultaten van Monteny en Huis in 't Veld (2003) voor ligboxenstallen voor melkvee, waarbij emissies tussen 5-20 kg/dag per dier werden gerapporteerd.

Uit tabel 13 blijkt dat de productie van CH₄ in het weideseizoen bijna tweemaal zo hoog is ten opzichte van het stalseizoen. Dit verschil in emissies kan worden verklaard door de extreme weeromstandigheden (ventilatie debiet factor 2-3 hoger t.o.v. de andere meetperiodes) waarbij metingen in mei 2003 werden uitgevoerd. De gemiddelde gemeten methaanemissie was 1.3 kg/dag per dier.

De productie van N₂O was alleen in de meetperiode van september 2004 duidelijk meetbaar ten opzichte van de gemiddelde achtergrondconcentratie. In de literatuur wordt de N₂O emissie vaak uitgedrukt als % van de aanwezige hoeveelheid N in de bron (in dit geval de pot). Per jaar wordt de mestproductie in de pot geschat op 850 m³ mest (inschatting op basis van gegevens uit deel 2: Mosquera *et al.*, 2004), waarmee de totale hoeveelheid N op 5270 kg wordt geschat. De gemiddelde N₂O was 0,003 kg/dag per NGE, dit is 60 kg N₂O per jaar. Op basis van deze metingen was 1,1% van de N in de bron vervluchtigd als N₂O.

Tabel 13 Aantal metingen (meetperiode 20 uur), melkkoeien en NGE, en de gemiddelde CH₄-, N₂O- en CO₂-concentraties en -emissies

	Stalseizoen		Weideseizoen	
	Januari 2004	November 2003	Mei 2003	September 2004
Aantal metingen (-)	1	1	3	2
Aantal melkkoeien (-)	51	41	52	48
Aantal NGE (-)	61,9	49,4	55,5	53,4
Ventilatie-debiet (m ³ /uur)	33.879	39.925	71.637	21.070
CH₄				
Concentratie (ppm)	77,5	67,7	141	133
Emissie (kg/dag/nge) ¹	0,71	0,88	2,83	0,89
N₂O				
Concentratie (ppm)	0,38	0,29	0,37	0,57
Emissie (kg/dag/nge) ²	0,002	0,000	0,003	0,005
CO₂				
Concentratie (ppm)	785	778	805	1099
Emissie (kg/dag/nge) ³	10,70	15,56	24,27	13,48

1 gecorrigeerd met gemiddelde achtergrondconcentratie van 1,75 ppm (Houghton *et al.*, 2001)

2 gecorrigeerd met gemiddelde achtergrondconcentratie van 0,31 ppm (Houghton *et al.*, 2001)

3 gecorrigeerd met gemiddelde achtergrondconcentratie van 370 ppm (Houghton *et al.*, 2001)

4 Discussie

Dit onderzoek was erop gericht om de gasvormige emissies uit een potstal te bepalen. Gasvormige N-emissies zijn een onderdeel van de N-stromen binnen een veehouderijbedrijf. Over het algemeen worden deze emissies ingeschat op basis van theoretische kennis. Door de NH₃- en N₂O-emissies onder praktijkomstandigheden te meten wordt beter inzicht gekregen in deze verliespost.

Ammoniakemissie is een proces dat beïnvloed wordt door zeer veel omgevingsfactoren. Naarmate de omgeving meer gestuurd kan worden, is de grip op het verloop en de hoeveelheid ammoniakemissie beter in te stellen. Bij natuurlijk geventileerde stallen is de sturing van de omgevingsfactoren zeer beperkt en daarmee de voorspelbaarheid en de mogelijkheid tot beïnvloeding van de uiteindelijk ammoniakemissie ook zeer beperkt. Belangrijke invloedsfactoren voor ammoniakemissie zijn:

- *Ventilatiedebiet*: over het algemeen zal een hoog ventilatiedebiet een hogere emissie geven
- *Luchtbeving*: wanneer een groot deel van de lucht langs emitterend oppervlak wordt geventileerd (bovenkant van de pot) zal de emissie toenemen. Wanneer de pot een hoog mestniveau heeft zal de ingaande lucht eerder bij het emitterend oppervlak kunnen komen dan bij een zeer diep mestniveau van de pot.
- *Temperatuur*: een hoger staltemperatuur zal de emissie verhogen.
- *Vervluchtbare N in mest en urine*: deze wordt ingeschat op basis van het ureumgehalte in de urine (een hoger gehalte heeft meer potentie voor ammoniakemissie) en het ureumgehalte van de tankmelk (wanneer deze hoger is zal de stikstof in het voer minder goed zijn benut en dus wordt er potentieel meer N als afvalstof door het dier afgevoerd).

In tabel 14 wordt van de genoemde invloedsfactoren door middel van + (verhogend) en – (verlagend) het effect op de stalemissie voor alle meetperioden weergegeven.

Tabel 14 Beoordeling invloedsfactoren NH₃-emissie uit de potstal en de gemeten emissie per meetperiode

	Stalseizoen		Weideseizoen	
	Januari 2004	November 2003	Mei 2003	September 2004
Ventilatie	++	+	+	--
Luchtbeving	+/-	-	+	+/-
Temperatuur	-	-	+	+
Ureumgehalte urine	+/-	-	+	+
Ureumgehalte tankmelk	-	++	-	+/-
NH ₃ -emissie (g/uur)	79,9	68,6	145,1	58,0

De tabel geeft een subjectieve inschatting van de factoren. Zoals uit de tabel blijkt, lopen de verschillende invloedsfactoren met bijbehorende effecten op de emissie sterk door elkaar heen. Door de mogelijke interacties is het niet mogelijk een eenduidige verklaring voor de gemeten

emissie vast te stellen. Door het huidige onderzoek werd een ammoniakemissie gemeten die varieerde tussen 26,1 en 62,7 g/dag per dier voor alle vier gemeten meetperioden. Deze resultaten komen overeen met andere vergelijkbare studies bij melkvee (tabel 15). Voor een potstal voor melkvee varieerde de ammoniakemissie tussen 7,5 en 85,5 g/dag per dier. Voor ligboxenstallen varieerde de emissie tussen 6,7 en 57,3 g/dag per dier. Uit het overzicht uit de literatuur en de resultaten uit het huidige onderzoek blijkt dat de NH₃-emissie uit een potstal vergelijkbaar is met de ligboxenstal, met uitzondering van 1 meting die gedurende 2 dagen werd uitgevoerd. Beide vertonen een grote variatie in de gemeten emissies.

Tabel 15 Overzicht gemeten ammoniakemissies bij rundveestallen.

stalsysteem	meetperiode	NH ₃ -emissie (g/dag/dier)	Referentie
potstal	januari – november	26,1 – 62,7	Huidig onderzoek
	november – maart (122 dg)	35,8	Groenestein en Reitsma (1993)
	zomerperiode (13dg)	16,6	Amon <i>et al.</i> (1998)
	2 dagen	85,5	Seipelt <i>et al.</i> (1999)
	2 maal 1 dag	7,5 – 23,4	Groot Koerkamp <i>et al.</i> (1998)
ligboxenstal	januari – april	33,3	Kroodsma <i>et al.</i> (1993)
	Mei incl. weidegang	50,0	Kroodsma <i>et al.</i> (1993)
	2 dagen	38,9 – 57,3	Seipelt <i>et al.</i> (1999)
	2 maal 1 dag	23,7 – 48,0	Groot Koerkamp <i>et al.</i> (1998)
	februari – januari	6,7 – 19,7	Jungbluth <i>et al.</i> (2001)
	januari –juli (incl. weidegang)	21,9	Scholten en Huis in 't Veld (1997)

De huidige emissiefactor voor een traditioneel (niet emissiearm, inclusief weidegang) ligboxenstal is 9,5 kg NH₃ per dierplaats per jaar, en is gebaseerd op een combinatie van metingen, berekeningen en beleidsmatige keuzes (Monteny *et al.*, 2001). Echter, zoals uit bovenstaande tabel blijkt, is de variatie in de gemeten emissies groot. Uit tabel 15 blijkt dat de gemiddelde NH₃-emissie uit de gemeten potstal 1,5 keer hoger uitkomt ten opzichte van de emissiefactor voor een traditioneel stalsystemen.

In een potstal waar mest en stro gedurende langere tijd opgestapeld worden opgeslagen, wordt een verhoogde methaanemissie verwacht ten opzichte van een ligboxenstal met opslag van dunne mest onder de roostervloer. Dit verschil wordt veroorzaakt door de grote hoeveelheid organisch materiaal en zuurstofarme omstandigheden in de samengeperste potstalmest. Daarnaast zullen omgevingsfactoren (ventilatie-debiet, luchtbeveging, temperatuur) en de endogene productie van de dieren van belang zijn voor de uiteindelijke emissie. Groenestein en Reitsma (1993) rapporteerden emissies van 1 kg CH₄.de⁻¹.dag⁻¹ voor een potstal van melkvee, waarvan 257 g CH₄.de⁻¹.dag⁻¹ afkomstig van de dieren, en de rest uit de pot. Van der Hoek (1984) berekende voor de rundveehouderij afhankelijk van de rantsoensamenstelling een CH₄-productie van 230-370 g per dag. Crutzen *et al.* (1986) kwamen met een schatting van 150-260 g per dag. In tabel 16 worden de resultaten van het huidige onderzoek vergeleken met vergelijkbare studies uit de literatuur voor methaan en lachgas, respectievelijk. Voor methaan werd in deze studie een emissie

gemeten die tussen 0,7 en 2,8 kg/dag per dier (gemiddelde: 1,3 kg/dag per dier) varieerde. Echter werd alleen in één van de vier meetperioden een methaanemissie gemeten die boven 1 kg/dag per dier lag. Deze (erg) hoge emissie werd veroorzaakt door de extreme weeromstandigheden (het ventilatiedebiet was een factor 2-3 hoger t.o.v de andere meetperioden) gedurende de metingen. Voor de andere drie meetperioden is een methaanemissie van 0,7-0,9 kg/dag per dier gemeten. Deze resultaten komen overeen met eerdere metingen bij een mechanisch geventileerde potstal voor melkvee (0,7-1,0 kg/dag per dier; Groenestein en Reitsma; 1993; Groenestein en Huis in 't Veld, 1994). Uit het literatuuroverzicht en de resultaten van het huidige onderzoek blijkt dat de methaanemissie uit een potstal hoger is dan de emissie uit ligboxenstallen.

Tabel 16 Overzicht gemeten methaanemissies bij rundveestallen.

stalsysteem	Meetperiode	CH ₄ -emissie (kg/dag/dier)	Referentie
potstal	januari – november	0,7 – 2,8	Huidig onderzoek
	november – maart (122 dg)	1,0	Groenestein en Reitsma (1993)
	november – maart (122 dg)	0,8	Groenestein en Huis in 't Veld (1994)
ligboxenstal	12 dagen	0,3	Sneath <i>et al.</i> (1997)
	2 dagen	0,3 – 0,4	Seipelt <i>et al.</i> (1999)
	februari – januari	0,2	Jungbluth <i>et al.</i> (2001)
	10 verschillende stallen	0,31 – 1,05	Huis in 't Veld en Monteny (2003)

Lachgas wordt ook geproduceerd door omzetting van organisch materiaal door bacteriën. Een belangrijke verschil tussen methaan en lachgas is dat methaanproductie heeft zuurstofarme omstandigheden nodig, terwijl lachgas kan alleen worden geproduceerd wanneer zuurstof aanwezig is. Bovendien komt lachgas niet vrij uit componenten die direct aanwezig zijn in de mest. Vóór dat lachgas kan ontstaan, moet eerst ammonium worden geproduceerd (Monteny en Erisman, 1998). Daarna moet onder zuurstofrijke condities nitrificatie plaatsvinden waarbij lachgas onder suboptimale (dus niet zuurstofrijk genoeg) omstandigheden ontstaat (Sibbensen en Lind, 1993; Groenestein en van Faassen, 1996; Oenema *et al.*, 1997). Hoge ammoniakemissies kunnen de omzetting naar nitriet/nitraat voorkomen, waardoor lachgas productie wordt geremd. Lachgasemissies zijn over het algemeen laag (tabel 17). Door de grote variatie in emissies en het beperkt aantal metingen is het niet mogelijk te concluderen of de lachgasemissie uit potstallen hoger of lager (significant) zijn dan die uit ligboxenstallen. In deze studie werd voor N₂O een emissie van 1,1% of de hoeveelheid stikstof in de mest gemeten.

Tabel 17 Overzicht gemeten lachgasemissies bij rundveestallen.

stalsysteem	meetperiode	N ₂ O-emissie (g/dag/dier)	Referentie
Potstal	januari – november	0,0 – 5,0	Huidig onderzoek
	november – maart (122 dg)	Niet detecteerbaar	Groenestein en Reitsma (1993)
	november – maart (122 dg)	Niet detecteerbaar	Groenestein en Huis in 't Veld (1994)
	zomerperiode (13dg)	2,0	Amon <i>et al.</i> (1998)
ligboxenstal	12 dagen	0,8	Sneath <i>et al.</i> (1997)
	februari – januari	1,6	Jungbluth <i>et al.</i> (2001)

5 Conclusies

In deze studie werden de gasvormige emissies uit een potstal voor melkvee bepaald. De gemiddelde ammoniakemissie was 13,9 kg per dier per jaar, 46% hoger dan de emissiefactor voor een overige stalsysteem (9,5 kg per dier per jaar). De gemiddelde methaan-, koolstofdioxide- en lachgasemissies waren 1,3 kg/dag per dier, 16 kg/dag per dier en 2,5 g/dag per dier, respectievelijk. De geometrisch gemiddelde geuremissie voor dit huisvestingssysteem bedroeg 73,0 OU_E/s per dier.

Literatuur

- Amon, B., Amon, T. en Boxberger, J. (1998). Investigation of the ammonia emissions from ghe agriculture in Austria for determination of potentials and possibilities of reduction. Forschungsprojekt Nr. L 883/94, Institut für Land, Umwelt- und Energietechnik der Universität für Bodenkultur, Vienna.
- Crutzen, P.J., Aselmann, I. en Seiler, W. (1986). Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus* **38B**, 271-284.
- EU (2001). Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. Official Journal L 309, 27/11/2001, pp. 22-30
- Groenestein, C.M. en Huis in 't Veld, J.W.H. (1994). Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XV: potstal voor zoogkoeien. *DLO-Rapport 94-1006*.
- Groenestein, C.M. en Montsma, H. (1991). Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen II: groepstal voor melkvee. *DLO-Rapport 91-1002*.
- Groenestein, C.M. en Reitsma, B. (1993). Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen X: potstal voor melkvee. *DLO-Rapport 93-1005*.
- Groenestein, C.M. and H.G. van Faassen (1996). Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric acid in deep-litter systems for fattening pigs. *J. Agric. Sci.* 65: 269-274.
- Handboek voor de melkveehouderij (1997). Animal Science Group, Lelystad
- Huis in 't Veld, J.W.H. en G.J. Monteny (2003). Methanemissie uit natuurlijk geventileerde melkveestallen. *IMAG Rapport 2003-01*.
- Koerkamp, P.W.G.G., Metz, J.H.M., Uenk, G.H., Phillips, V.R., Holden, M.R., Sneath, R.W., Short, J.L., White, R.P., Hartung, J., Seedorf, J., Schröder, M., Linkert, K.H., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J.O. and Wathes, C.M. (1998). Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. *J. agric. Engng. Res.* 70, 79-95.
- Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., Van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K. and Johnson, C.A. (2001). *Climate Change 2001: The scientific basis*. Cambridge University Press.
- Jungbluth, T., Brose, G. en Hartung, E. (2001). Environmental Technology in Cattle and Milking Cow Production. In *Proceedings of the "International Symposium on Animal Production and Environmental Issues"*, pp. 132-146. Chile, 25-27 July 2001.
- KNMI (2004), www.knmi.nl (weerhistorie).
- Kroodsma, W., Huis in 't Veld, J.W.H. en Scholtens, R. (1993). Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing. *Livestock Production Science* **35**, 293-302.

- Monteny, G.J. and Erisman, J.W. (1998). Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. *Netherlands J. Agric. Sci.* **46**, 225-247.
- Monteny, G.J., Scholtens, R., Klarenbeek, J.V. en de Bree, F. (1999). Oriënterend onderzoek naar geuremissie van rundveestallen. *IMAG Rapport 99-17*.
- Monteny, G.J. en Huis in 't Veld, J.W.H. (2003). Methaanemissie uit natuurlijk geventileerd melkveestallen. *IMAG Rapport 2003-01*.
- Monteny, G.J., Huis in 't Veld, J.W.H., Van Duinkerken, G., André, G. and Van der Schans, F. (2001). Naar een jaarrond-emissie van ammoniak uit melkveestallen. *IMAG Rapport 2001-09*.
- Mosquera, J., Hofschreuder, P. en Hensen, A. (2002). Application of new measurement techniques and strategies to measure ammonia emissions from agricultural activities. *IMAG Rapport 2002-11*.
- Mosquera, J., Hofschreuder, P. en Hol, J.M.G. (2004). Onderzoek naar de emissies van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee II. Mestopslag buiten de stal. *A&F Rapport 325*.
- Mosquera *et al.* (2005). Gasvormige emissies uit een stal voor melkvee. Praktijkmetingen in een ligboxen- en grupstal. In voorbereiding.
- 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).
- Oenema, O., Velthof, G.L., Yamulki, S. and Jarvis, S.C. (1997). Nitrous oxide emissions from grazed grassland. *Soil Use Manage* **13**, 288-295.
- Oenema, O. Velthof, G.L., Verdoes, N., Groot Koerkamp, P.W.G., Monteny, G.J., Bannink, A., Van der Meer, H.G. en Van der Hoek, K.W. (2000). Forfaitaire waarden voor gasvormige stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen. *Alterra Rapport 107*.
- RIVM en CBS (2001). Milieucompendium 2001: het milieu in cijfers. Centraal Bureau voor de Statistiek CBS), Voorburg/Heerlen en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven.
- Scholtens, R. (1993). NH₃-convertor + NO_x- analyser. In Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij (eds E.N.J. van Ouwkerk). *DLO-Rapport 16*.
- 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*.

- Seipelt, F., Ross, A., Steffens, G. en van den Weghe, H. (1999). Monitoring of gaseous emissions from naturally ventilated dairy houses using the tracer gas technique using the rate-of-decay method. In *Proceedings of the International Conference "Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming"*, pp. 69-74. Germany, 9-10 March 1999.
- Sibbesen, E. and Lind, A.M. (1993). Loss of nitrous oxide from animal manure in dungheaps. *Acta Agric. Scand. Sect.B, Soil Plant Sci.* **43**, 16-20.
- Sliggers, J. (ed.) (2001). Op weg naar duurzame niveaus voor gezondheid en natuur. Overzichtspublicatie thema verzuring en grootschalige luchtverontreiniging. Rapport VROM 010344/h/10-01 17529/187, Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, oktober 2001, 229 pp.
- Sneath, R.W., Phillips, V.R., Demmers, T.G.M., Burgess, L.R., Short, J.L. en Welch, S.K. (1997). Long term measurements of greenhouse gas emissions from UK livestock buildings. In *Proceedings of the Fifth International Symposium "Livestock Environment V"*, pp. 146-153. USA, 1997.
- 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*.
- Van der Hoek, K.W. (1984). Methaangaswinning en –benutting op melkveebedrijven. Samenvatting van een multidisciplinair onderzoeksproject 1980-1983. *IMAG-publicatie 203*.
- Van Duinkerken, G., André, G., Smits, M.C.J., Monteny, G.J., Blanken, K., Wagemans, M.J.M. and Sebek, L.B.J. (2003). Relatie tussen voeding en ammoniakemissie vanuit de melkveestal. *Praktijkrapport Rundvee 25*.
- VROM en LNV (1996). Richtlijn Veehouderij en Stankhinder. Publicatie van de Ministeries van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- VROM (2001). Nationaal Milieubeleidsplan 4. Een wereld en een wil: werken aan duurzaamheid. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag.
- VROM (2003). Regeling stankemissie veehouderijen in landbouwontwikkelings- en verwevingsgebieden, www.infomil.nl, Den Haag.
- VROM (2004). Wijziging van de Regeling ammoniak en veehouderij, www.infomil.nl, Den Haag.
- Weast, R.C., M.J. Astle and W.H. Beyer (1986). Handbook of chemistry and physics, 67th Edition. Florida, CRC Press Inc.

Samenvatting

Gasvormige stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen worden veroorzaakt door ammoniakvervluchtiging (NH_3 -vervluchtiging) en door de processen nitrificatie en denitrificatie, waarbij stikstofoxide (NO), lachgas (N_2O) en stikstofgas (N_2) kunnen vervluchten. In potstallen, waar de stalvloer voor het grootste deel bestaat uit strooiselrijke mest, kan de vervluchtiging van NO , N_2O en N_2 een belangrijke bron zijn van N-verlies. Het doel van dit onderzoek is om de emissie van NH_3 , N_2O , CH_4 , CO_2 en geur uit de potstal te bepalen. Hiervoor werd tweemaal in het stalseizoen (januari 2004 en november 2005) en tweemaal in het weideseizoen (mei 2003 en september 2004) gedurende enkele dagen metingen uitgevoerd.

Het onderzoek werd uitgevoerd in een natuurlijk geventileerde potstal waar gemiddeld 45 koeien met bij behorend jongvee werd gehuisvest. De gemiddelde productie van de koeien was 5.800 kg melk per koe per jaar. Het ranstoen bestond in de stalperiode uit gras/klaver silage en GPS (gehele plant silage). In de weideperiode werd over het algemeen overdag geweid en 's avonds werd gras/klaver silage en eventueel GPS gevoerd.

De mestopslag bestond uit een 1,8 m diepe pot waar 243 m^3 mest kon worden opgeslagen. Bij het voerhek was een roostervloer geplaatst waaronder zich een kleine traditionele mestkelder bevond. De mest in de pot werd 2 maal per jaar (zomer en herfst) verwijderd. Gedurende het stalseizoen werd 2 maal per dag schoon stro over de gehele pot verspreid, in het weideseizoen gebeurde dit 1 maal per dag.

Voor de bepaling van de emissies werd gebruik gemaakt van de interne tracergasmethode waarbij het ventilatiedebiet van de stal werd ingeschat met behulp van een geïnjecteerd tracergas (SF_6). De concentraties van NH_3 en SF_6 werden continu gemeten. De gemiddelde concentraties van CH_4 , N_2O en CO_2 werden met behulp van canisters over een periode van ca. 24 uur gemeten. De gemiddelde geurconcentratie werd gedurende 2 uur gemeten. Om inzicht te krijgen in de stikstofbenutting van de melkkoeien werden in iedere meetperiode urinemonsters genomen en de gemiddelde melksamenstelling geregistreerd (tankureumgehalte). Alle dieren in de stal werden met behulp van standaard omrekeningsfactoren omgerekend naar aanwezige diereenheden (NGE).

De NH_3 -emissie varieerde sterk per meetperiode, waarbij de invloed van het ventilatiedebiet groot was. Tussen het stal- en weideseizoen zaten geen eenduidige verschillen. Het dagelijks patroon van de NH_3 -emissie verschilde wel per seizoen alleen kon hiervoor geen verklaring in het verschil in management worden gevonden. De gemiddelde NH_3 -emissie was 13,9 kg per NGE per jaar. Dit is 1,5 keer hoger dan de emissiefactor voor overige stalsystemen voor melkvee inclusief weidegang. Ten opzichte van de gegevens uit de literatuur blijkt dat de huidige meetset

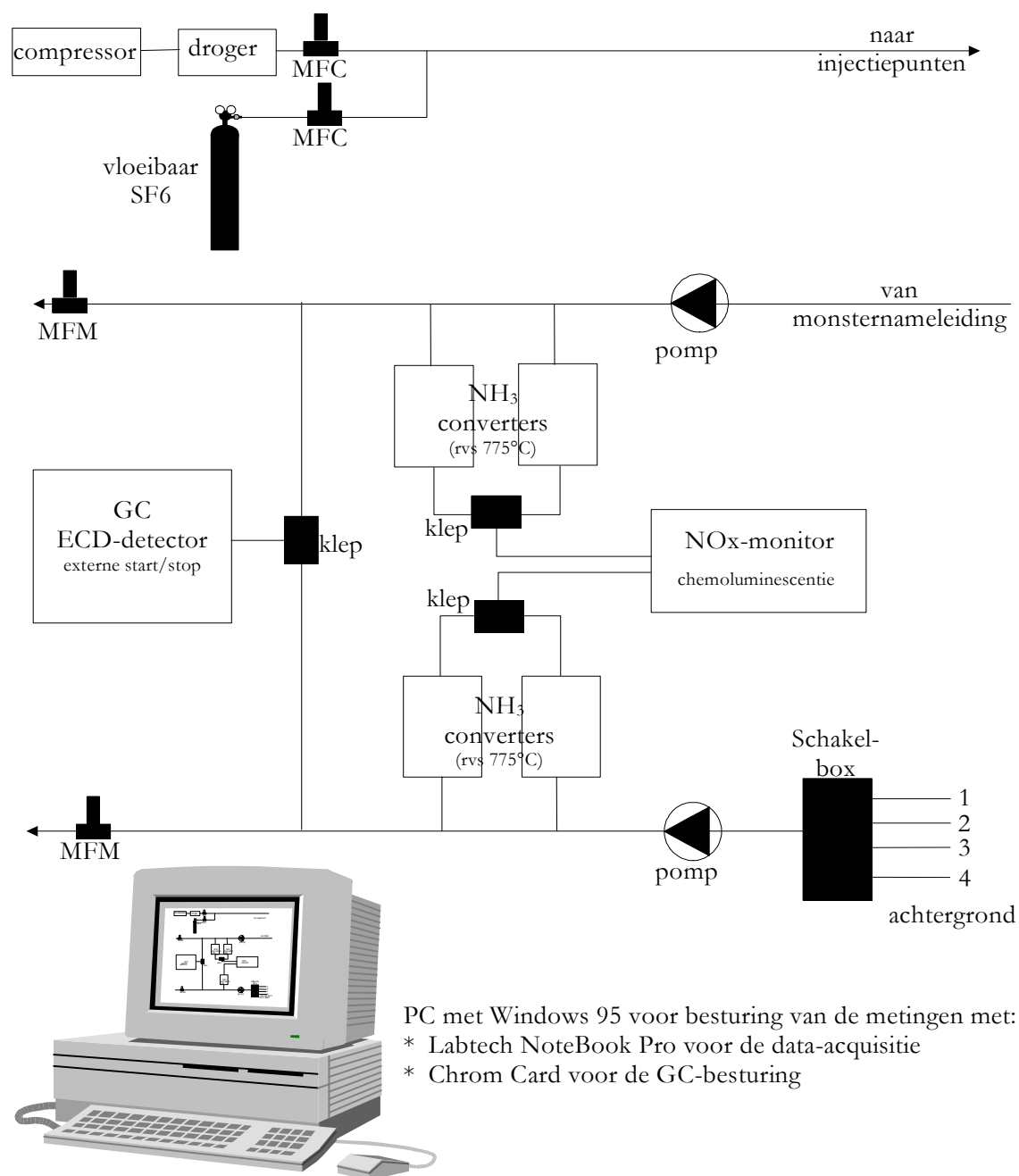
binnen de gevonden resultaten valt en dat er geen verschil blijkt tussen de emissie uit een potstal en een ligboxenstal.

De gemiddelde geuremissie over alle meetperioden was $73 \text{ OU}_E/\text{s}$ per NGE. Dit resultaat valt binnen de spreiding die in de literatuur wordt gevonden. Deze dataset is echter beperkt. De gemiddelde CH_4 -emissie was $1,3 \text{ kg/dag}$ per NGE. Uit het huidige onderzoek en de dataset uit de literatuur blijkt dat de CH_4 -emissie uit een potstal gemiddeld genomen hoger is dan uit een ligboxenstal. De N_2O emissie is $2,5 \text{ g/dag}$ per NGE, dit is $1,1\%$ van de N-bron. Uit de vergelijking met de literatuur kan door de beperkte hoeveelheid meetgegeven geen verschil in N_2O -emissie tussen potstal en ligboxenstal worden vastgesteld. De CO_2 -emissie was gemiddeld 16 kg/dag per NGE.

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 tracer gas 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 tracer gas (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 tracer gas en de tracer gasconcentratie 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 tracer gasratio-methode zijn dat:

- een goede menging plaatsvindt tussen het tracer gas en ammoniak;
- het tracer gas 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 tracer gasinjectie 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 ventilatie-debiet.

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.

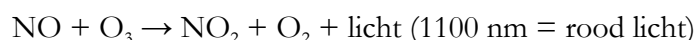
Kalibratieresultaten

De wekelijkse kalibraties van de gaschromatograaf zijn uitgevoerd met 49,7 ppb SF₆-gas in N₂ tijdens beide meetperioden. Tijdens de eerste helft van de gehele meetperiode (augustus 2002 t/m januari 2003) bedroeg de absolute afwijking tijdens de kalibratie gemiddeld 5,1%, en tijdens de tweede helft (februari t/m juli 2003) van de gehele meetperiode gemiddeld 4,2%. 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 komtstikstofdioxide (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

Tijdens de meetperiode was de maximaal meetbare NH₃-concentratie 20 ppm. De wekelijkse kalibratie van de monitor werd t/m 25 maart 2003 uitgevoerd met 8,1 ppm NO-gas in N₂. Vanaf deze datum werd 10,0 ppm NO-gas in N₂ gebruikt. Tijdens de eerste helft van de gehele meetperiode (augustus 2002 t/m januari 2003) bedroeg de absolute afwijking tijdens de kalibratie gemiddeld 1,5%, en tijdens de tweede helft (februari t/m juli 2003) van de gehele meetperiode gemiddeld 1,1%. Voor het verloop in ammoniakconcentratie tussen 2 kalibraties zijn de concentraties lineair op basis van de duur sinds de voorafgaande kalibratie gecorrigeerd.

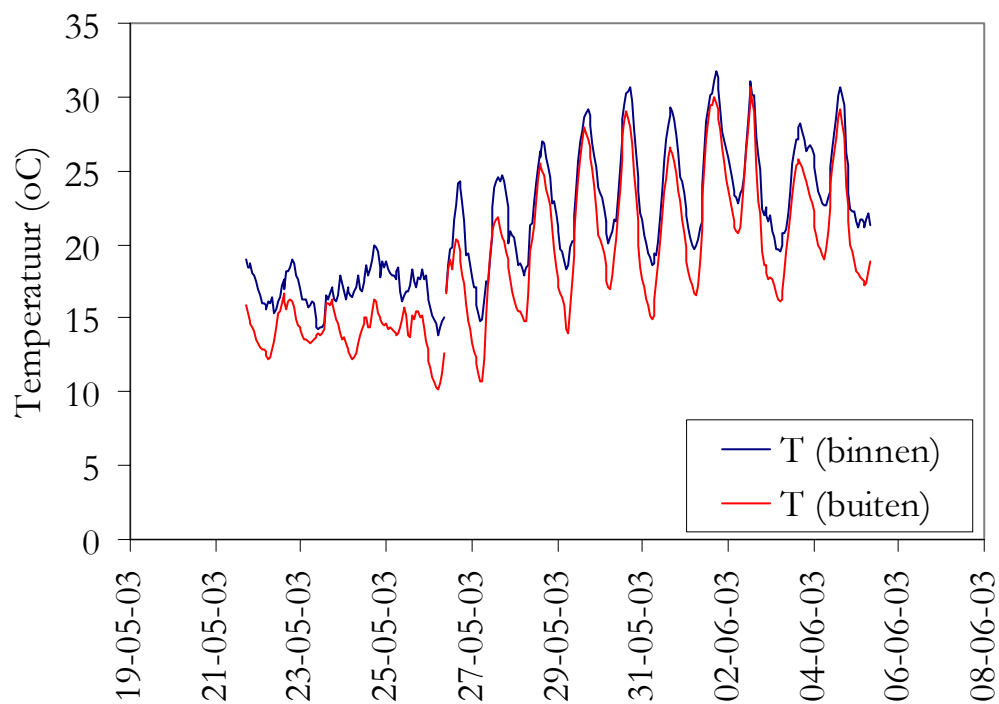
Bijlage E Omzettingspercentages convertors

In onderstaande tabel staat per meetpunt het gemiddelde omzettingspercentage 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 de in de tabel aangegeven meetperiodes. Zowel voor de hoge concentraties (verzamelleiding uit stal) als voor de lage concentraties (achtergrond) zijn 2 convertors gebruikt. Na iedere meting wordt 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.

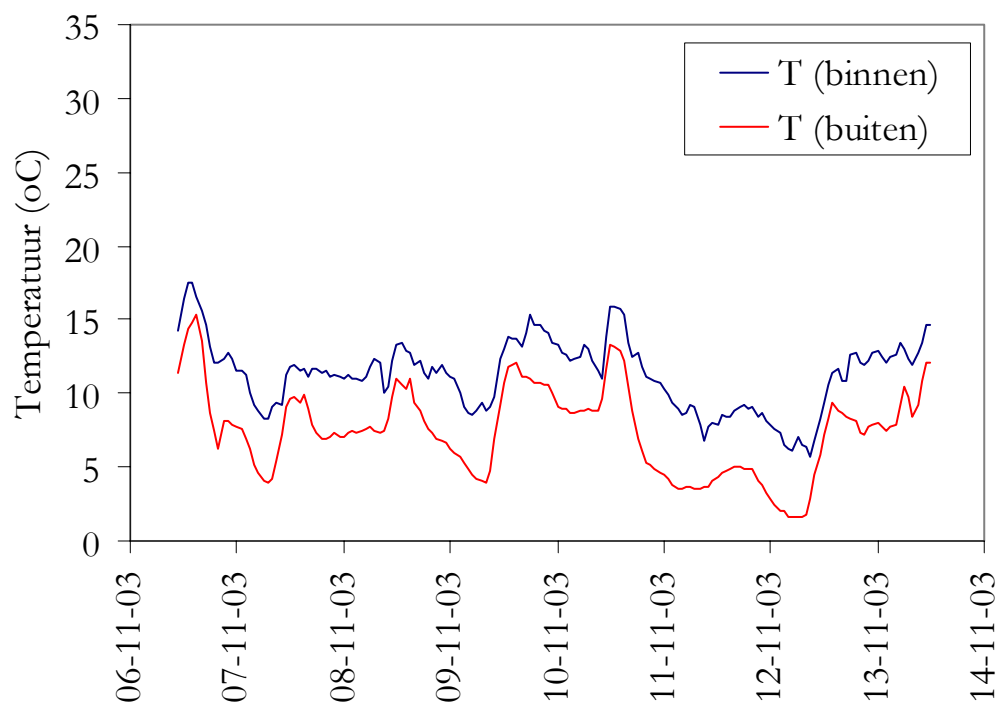
Tabel E1 Gemiddeld omzettingsrendement van de convertors voor beide meetperiodes

	Augustus 2002 – Januari 2003	Februari – Juli 2003
Stal	94%	98%
Ingaande stallucht	93%	94%

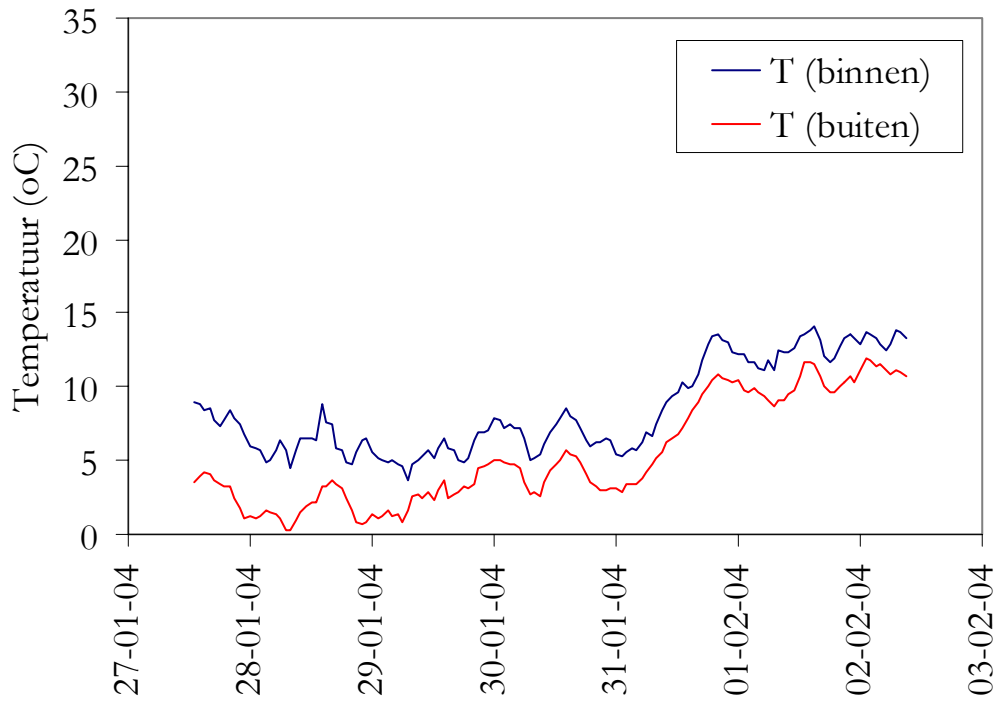
Bijlage F Temperatuur



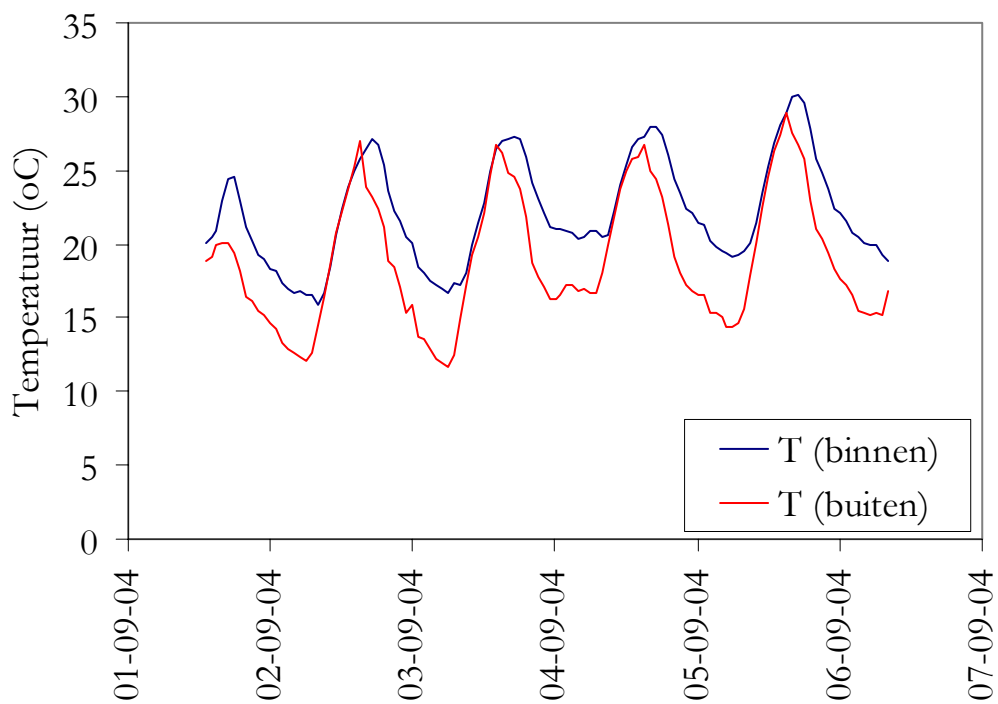
Figuur F1 Daggemiddelde temperatuur binnen en buiten de potstal voor meetperiode 1



Figuur F2 Daggemiddelde temperatuur binnen en buiten de potstal voor meetperiode 2

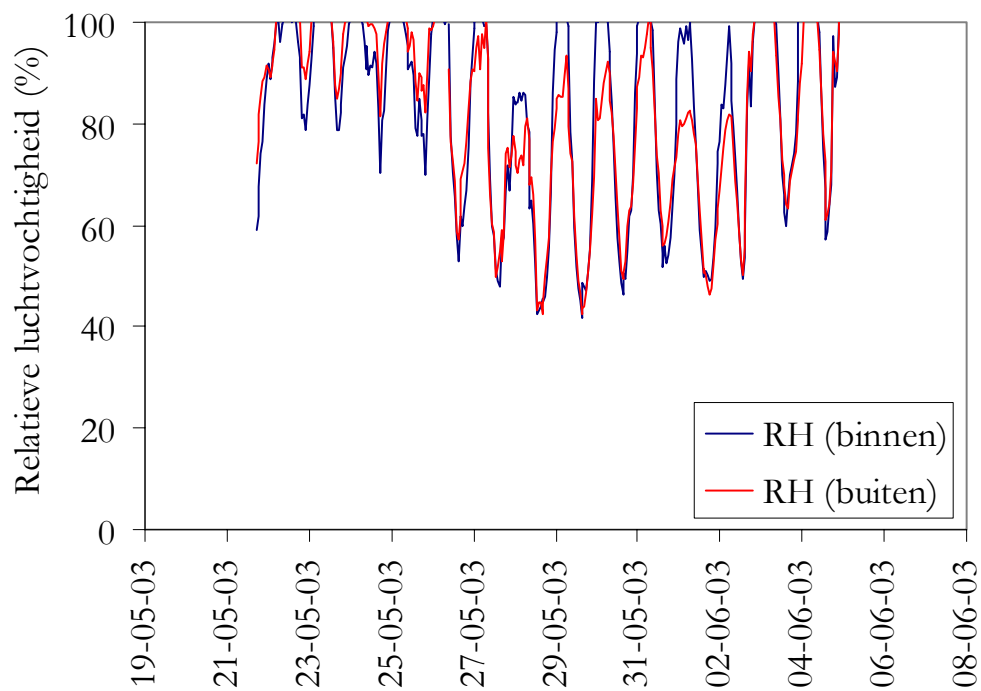


Figuur F3 Daggemiddelde temperatuur binnen en buiten de potstal voor meetperiode 3

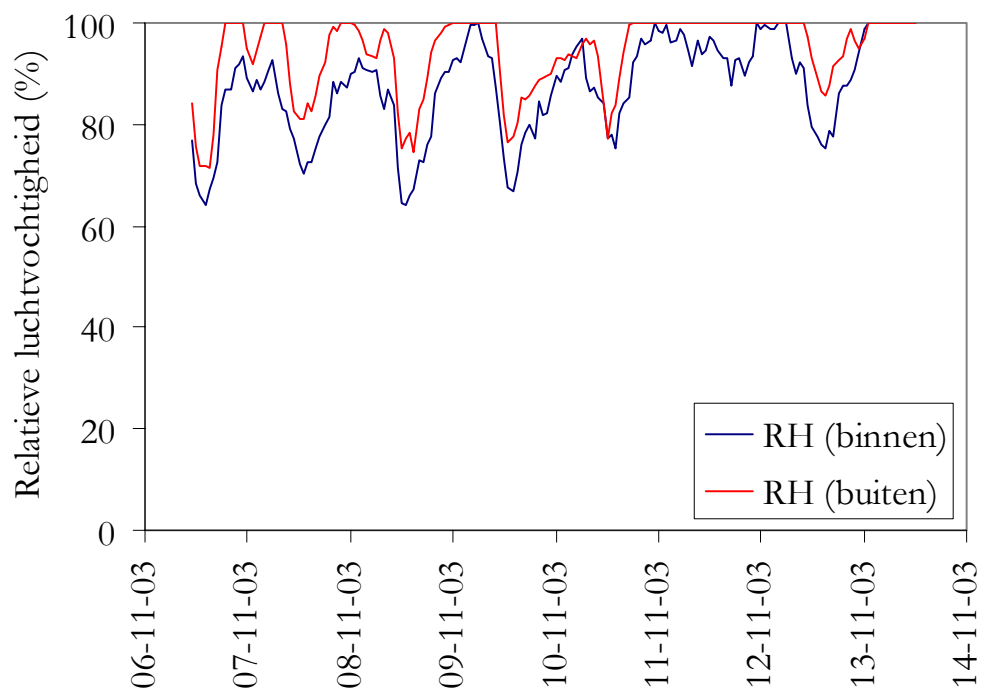


Figuur F4 Daggemiddelde temperatuur binnen en buiten de potstal voor meetperiode 4

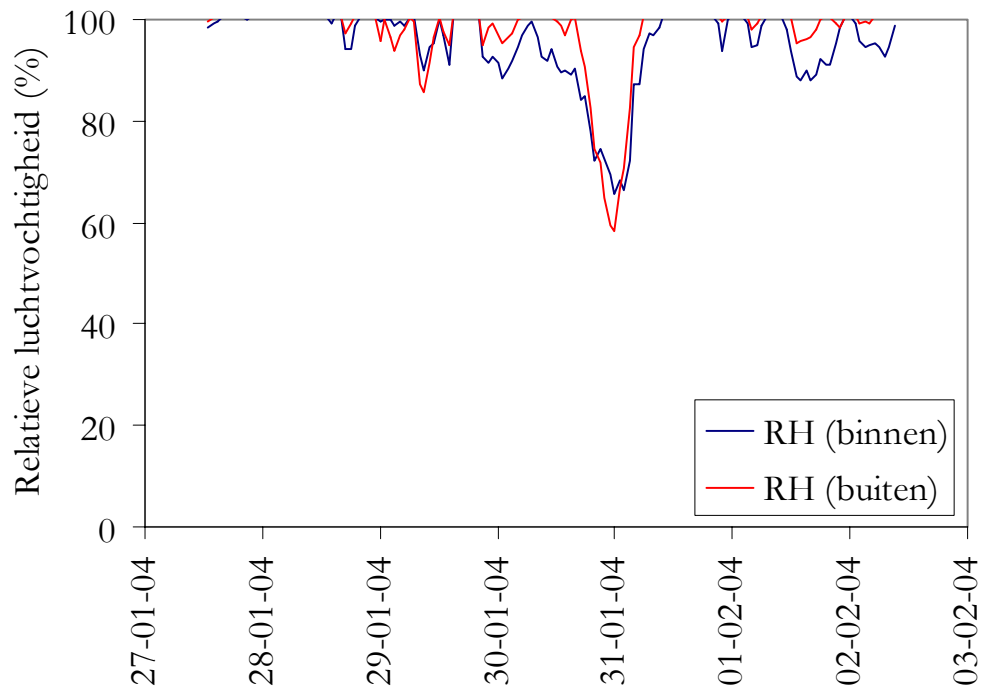
Bijlage G Relatieve luchtvochtigheid



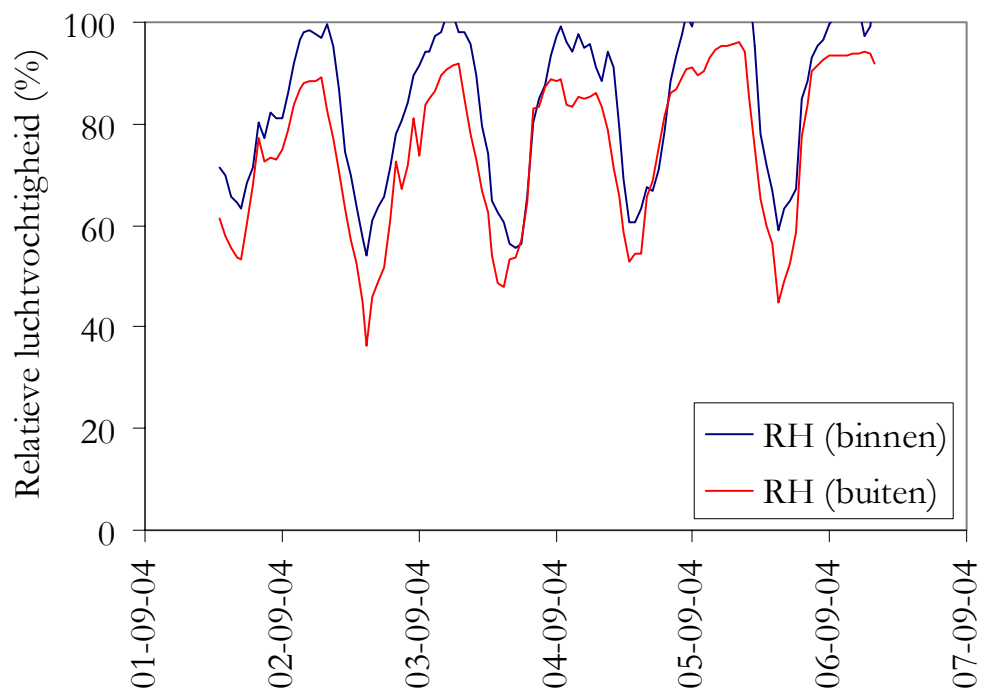
Figuur G1 Daggemiddelde relatieve luchtvochtigheid binnen en buiten de potstal voor meetperiode 1



Figuur G2 Daggemiddelde relatieve luchtvochtigheid binnen en buiten de potstal voor meetperiode 2

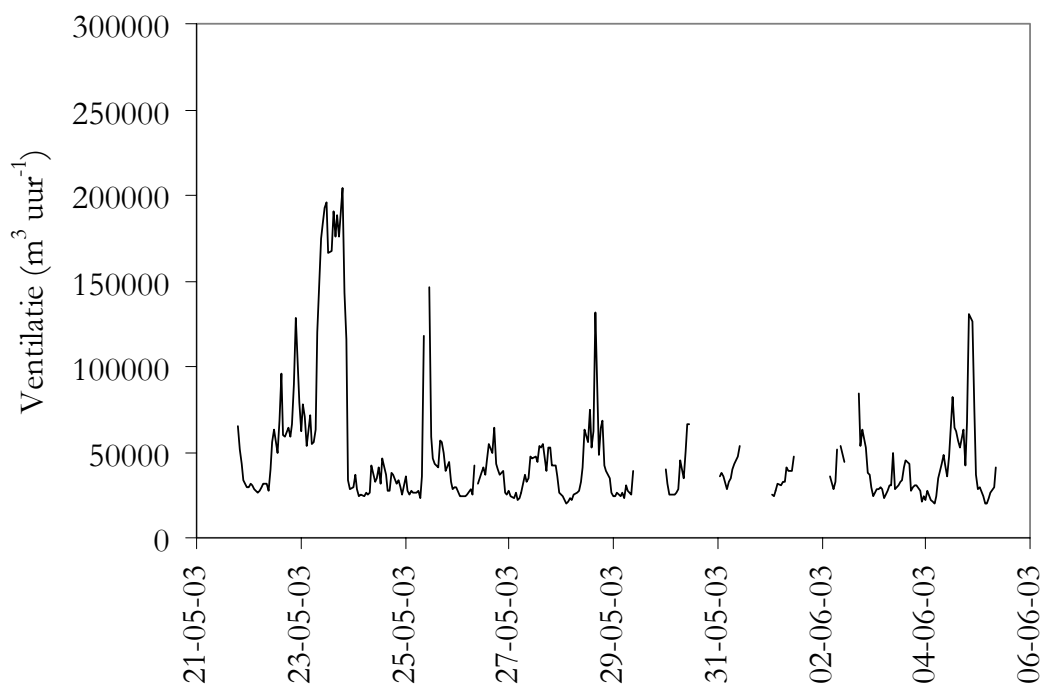


Figuur G3 Daggemiddelde relatieve luchtvochtigheid binnen en buiten de potstal voor meetperiode 3

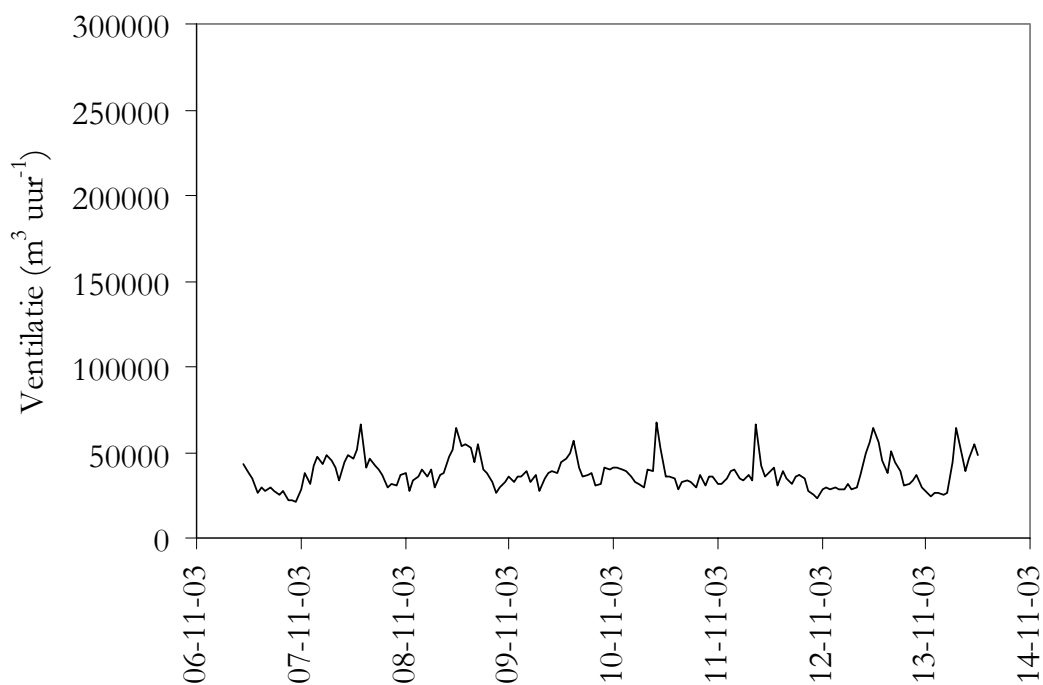


Figuur G4 Daggemiddelde relatieve luchtvochtigheid binnen en buiten de potstal voor meetperiode 4

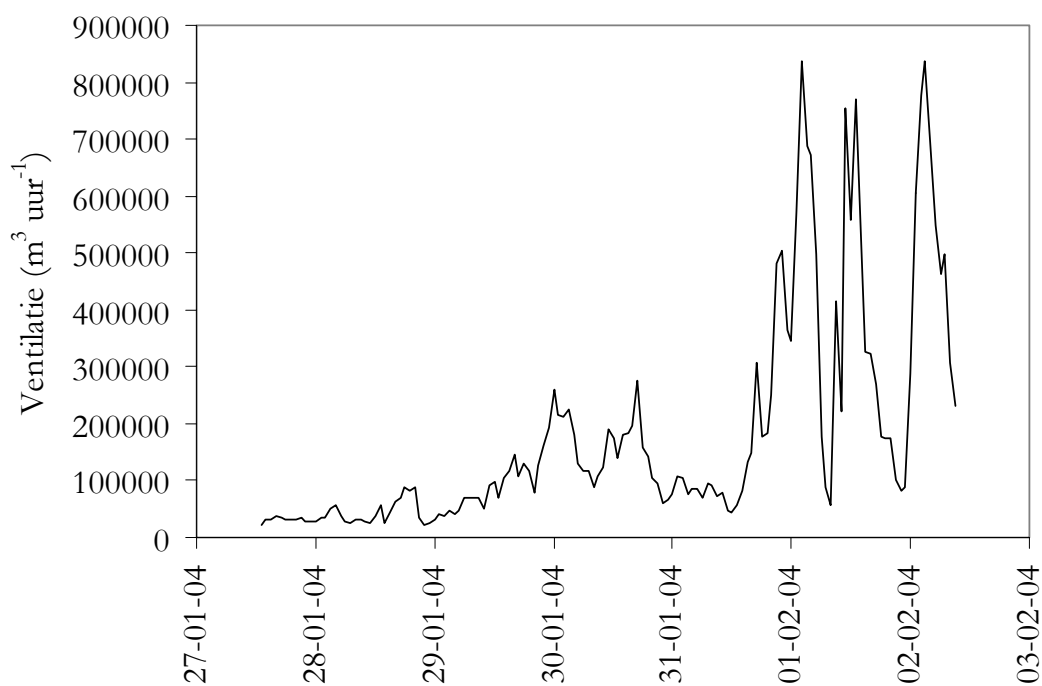
Bijlage H Ventilatiedebiet



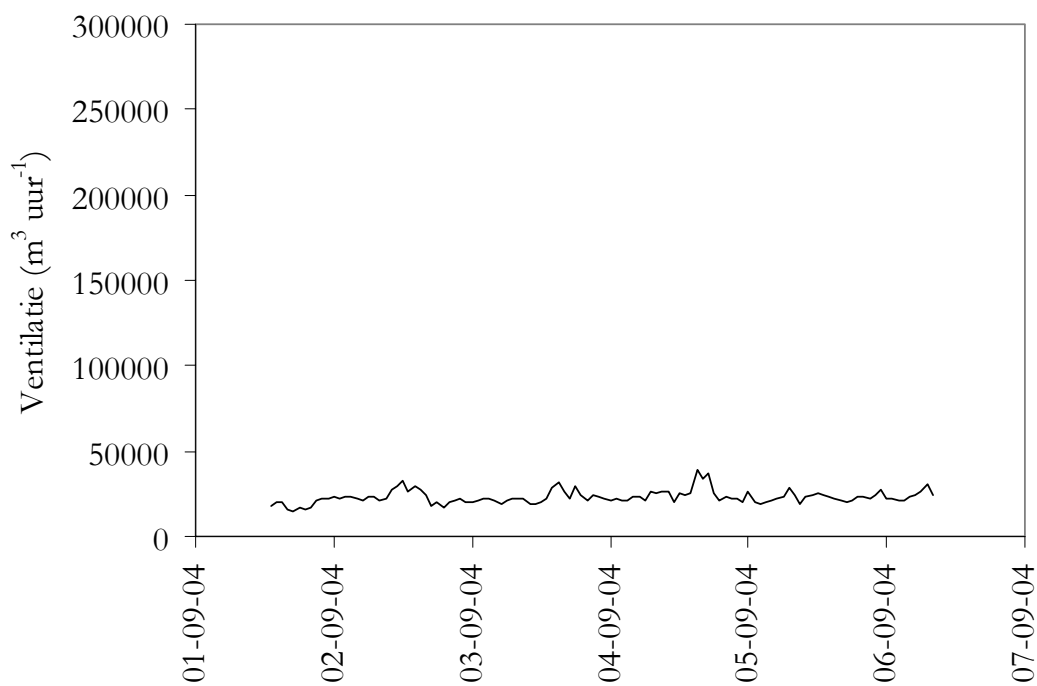
Figuur H1 Uurgemiddelden ventilatiedebiet voor meetperiode 1



Figuur H2 Uurgemiddelden ventilatiedebiet voor meetperiode 2

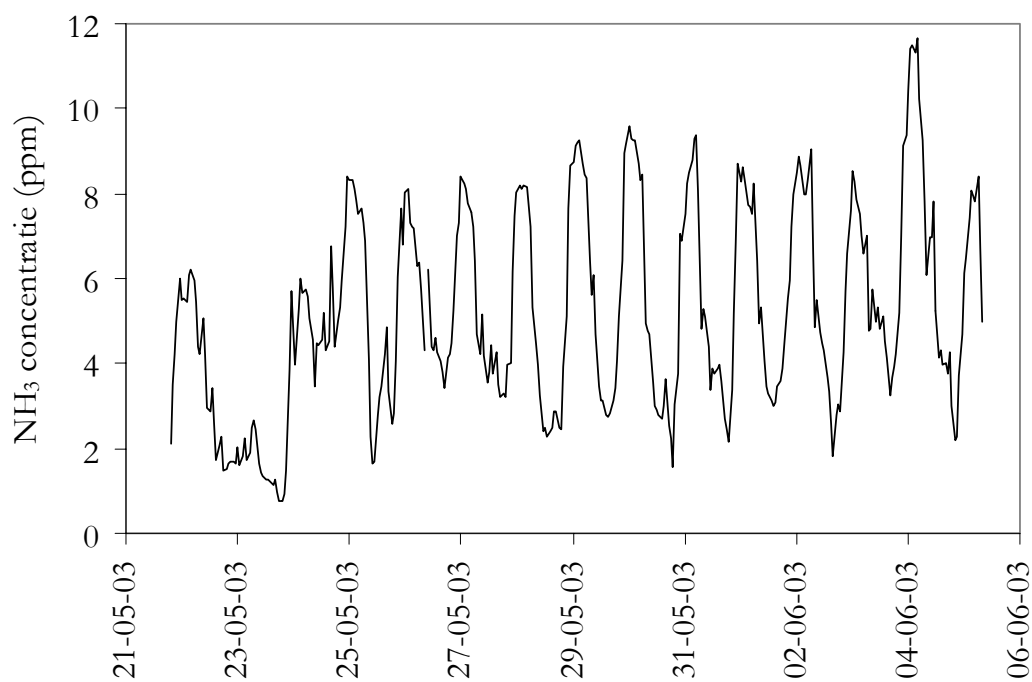


Figuur H3 Uurgemiddelden ventilatiedebiet voor meetperiode 3

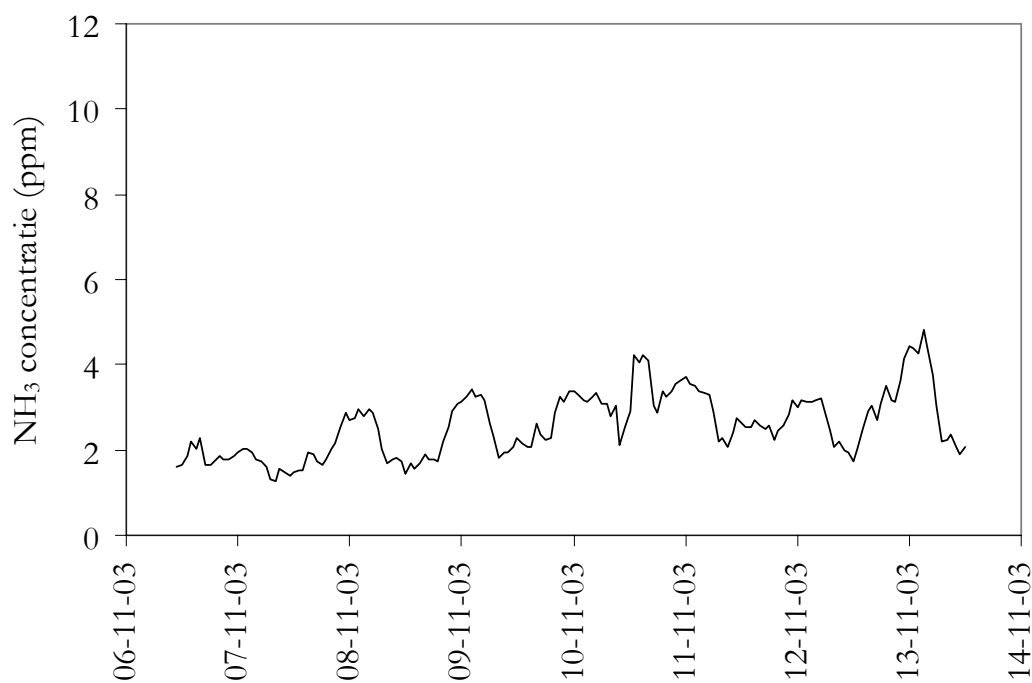


Figuur H4 Uurgemiddelden ventilatiedebiet voor meetperiode 4

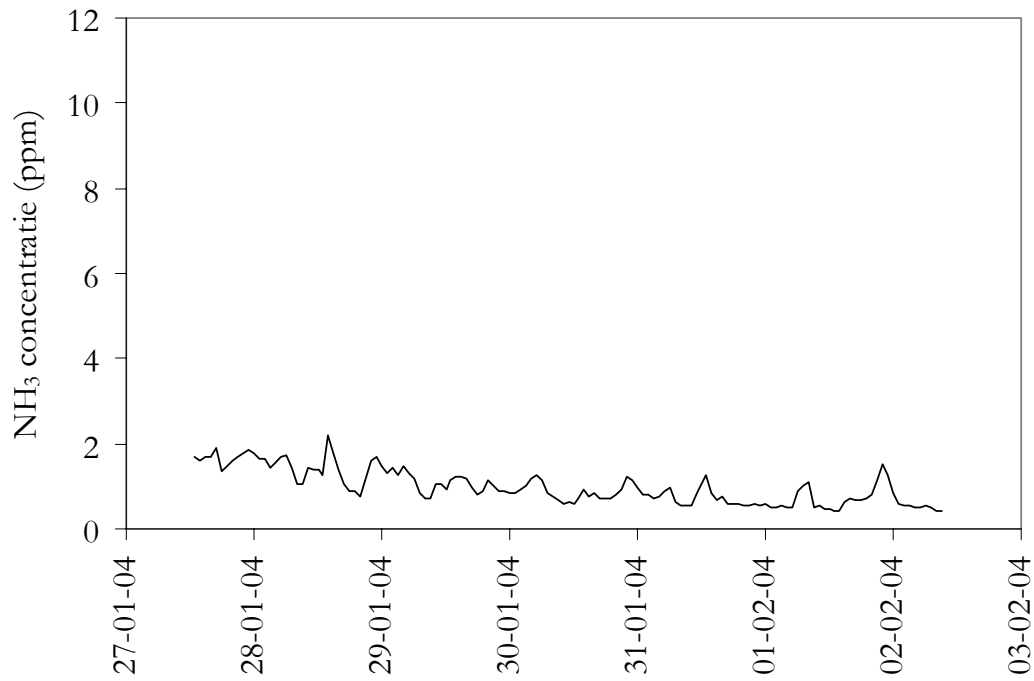
Bijlage I Ammoniakconcentratie



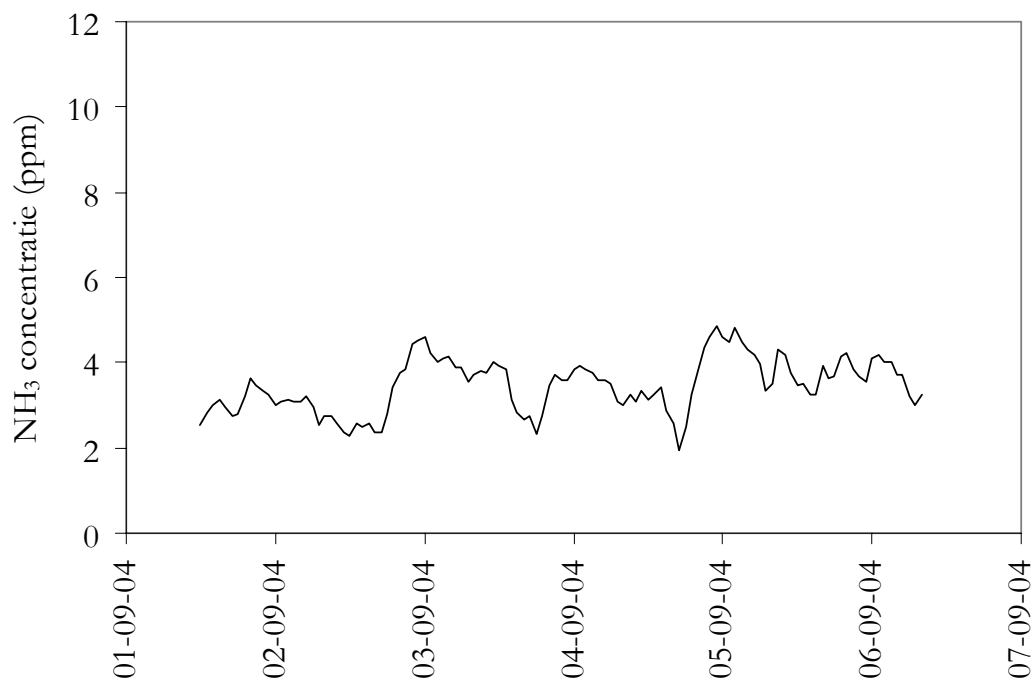
Figuur I1 Uurgemiddelden ammoniakconcentratie voor meetperiode 1



Figuur I2 Uurgemiddelden ammoniakconcentratie voor meetperiode 2



Figuur I3 Uurgemiddelden ammoniakconcentratie voor meetperiode 3



Figuur I4 Uurgemiddelden ammoniakconcentratie voor meetperiode 4