

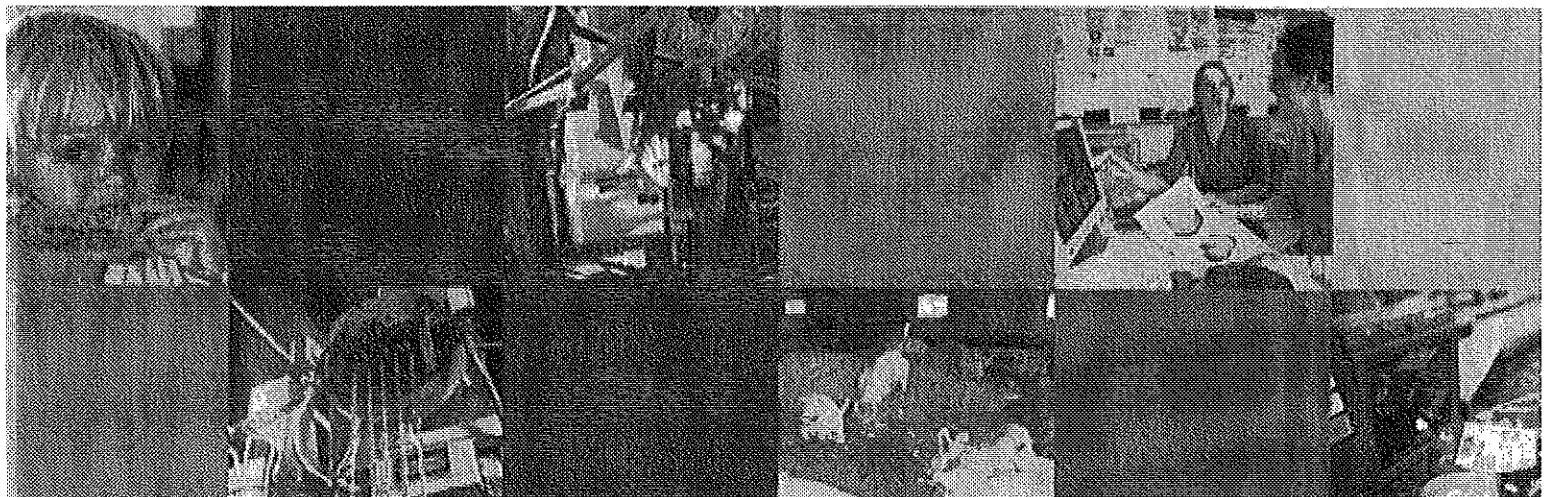
Geuremissie van een stal voor melkgeiten

Ing. A.G.C. Beurskens

Ing. P. de Gijssel

Ing. J.M.G. Hol

095



Colofon

Title	Geuremissie van een stal voor melkgeiten
Author(s)	A.G.C. Beurskens, P. de Gijsel en J.M.G. Hol
A&F-number	Report nr. 095
ISBN-number	90-6754-763-8
Date of publication	March 2004
Confidentiality	n/a
Project code	n/a
Price	n/a

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

© 2004 Agrotechnology & Food Innovations B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleelvoudigd, 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 rights 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 inaccuracies in this report.*

Abstract

New odour regulations require measurements of odour emissions of the main conventional and newly developed housing systems. Within this framework research was carried out into the emission of odour and ammonia from a naturally ventilated deep litter house for dairy goats. The odour and ammonia measurements were carried out on ten days, equally spread over the period from August to December 2003. Each measurement lasted two hours.

The building housed on average 805 dairy goats during the measuring period. The geometric mean odour emission from this housing system was 19,5 OU_E/s per animal. Based on 10 measurements of 2 hours, the mean ammonia emission per animal was 2,9 kg/year.

Keywords: Odour, Ammonia, Goats, Deep litter house, Field experiment.

Inhoud

Abstract	3
1 Inleiding	7
2 Materiaal en methode	9
2.1 Stal- en bedrijfssituatie	9
2.2 Bedrijfsvoering	10
2.3 Metingen	10
2.3.1 Interne tracergasratio-methode	11
2.3.2 Tracergasinjectie en –concentratie	12
2.3.3 Geurconcentratie	12
2.3.4 Ammoniakconcentratie	13
2.4 Dataverwerking	13
3 Resultaten	15
3.1 Productieresultaten	15
3.2 Klimaat en luchtverversing	15
3.3 Geurconcentratie en -emissie	16
3.4 Ammoniakconcentratie en -emissie	17
4 Discussie	19
5 Conclusies	21
Literatuur	23
Dankwoord	25
Samenvatting	27
Bijlagen	29

1 Inleiding

De problematiek van de geurhinder die wordt veroorzaakt door landbouwactiviteiten speelt een steeds belangrijkere rol in de wet- en regelgeving. De landbouwsector is, samen met de industrie en het wegverkeer, een belangrijke bron van geurhinder in Nederland. Zo ervoer in 2001 11% van de bevolking geurhinder van landbouwactiviteiten, 10% van industrie en 7% van verkeer (VROM, 2001). De belangrijkste overheidsdoelstelling voor beheersing van geurhinder in 2000 was stabilisatie op het niveau van 1985. In het Nationaal Milieubeleidsplan van 1989 is hierover opgenomen dat maximaal 750.000 woningen in 2000 geurbelast mogen zijn. Dit komt overeen met een landelijk gemiddeld percentage van 12% geurgehinderde in 2000. Voor 2001 zijn deze cijfers niet veranderd. Voor het jaar 2010 geldt als doelstelling geen ernstige hinder (VROM, 1989, 2001).

Geurhinder in de landbouw wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door twee bronnen, namelijk het toedienen van dierlijke mest en het vrijkomen van geur uit veehouderijgebouwen. Vanaf de jaren zeventig is regelgeving ontwikkeld om de geurhinder door emissie van veehouderijgebouwen te beperken. Momenteel wordt voor veehouderijbedrijven de Richtlijn Veehouderij en Stankhinder 1996 toegepast (VROM en LNV, 1996), met in achtneming van de hierbij gevormde jurisprudentie. Ter onderbouwing en verdere ontwikkeling van de Richtlijn wordt sinds 1996 in opdracht van de ministeries van LNV en VROM door A&F (het vroegere IMAG) een meetprogramma uitgevoerd waarin de geuremissie van thans gangbare en nieuwe veehouderijssystemen wordt vastgesteld volgens een standaard meetprotocol (Ogink en Klarenbeek, 1997; Ogink en Lens, 2000; Mol en Ogink, 2002). Aanvullend hierop voert de A&F-meetploeg sedert 1999 geurmetingen uit aan de stalsystemen die zijn opgenomen in het ammoniakmeetprogramma, met gebruikmaking van hetzelfde standaard meetprotocol voor geuremissiemeting. De in de Richtlijn Veehouderij en Stankhinder opgenomen tabel met m.v.e. (mestvarkeneenheid) omrekeningsfactoren is in het voorjaar van 2003 aangepast op basis van informatie uit deze onderzoeken.

In 1999 en 2000 is door de A&F-meetploeg onderzoek uitgevoerd naar de geuremissie van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkgeiten (Huis in 't Veld *et al.*, 2002). Het resultaat van dit onderzoek was een geuremissie van 18,2 OU_E/s per gemiddeld aanwezige geit. In het onderhavige onderzoek wordt de geuremissie voor melkgeiten nogmaals bepaald op een andere locatie. Hiermee kan de nauwkeurigheid van de geschatte geuremissie van melkgeiten worden verhoogd. Hiervoor zijn in een moderne praktijkstal, een natuurlijk geventileerde potstal voor ca. 700 melkgeiten, verdeeld over een periode van 4 maanden 10 geurmetingen uitgevoerd. Tegelijkertijd werd 10 maal de ammoniakemissie bepaald.

2 Materiaal en methode

2.1 Stal- en bedrijfssituatie

Het onderzoek werd uitgevoerd in een natuurlijk geventileerde potstal voor melkgeiten. De stal, met een lengte van 60 meter en een breedte van 25 meter, was ingericht met 2 voergangen en 4 strooiselruimtes voor de geiten. Naast de gemeten potstal bevond zich een stal waarin geen dieren werden gehuisvest, maar waarin zich o.a. een 60-stands rotor melkput bevond. In Bijlage A is de plattegrond van de stal schematisch weergegeven; in Bijlage B is een aantal foto's van de meetlocatie opgenomen.

Aan de voorzijde van de stal bevond zich in de breedte een centrale gang en een kleine bergruimte. In de lengterichting van de stal bevonden zich de strooiselruimtes (4,10 x 57,5 m) en de voergangen (4,20 x 57,5 m). Aan beide kopse kanten van de stal bevonden zich in het verlengde van de voergangen schuifdeuren (4,30 x 4 m). De twee strooiselruimtes in het midden van de stal werden gescheiden door een muur met daarop een hekwerk. Het voor de dieren beschikbare oppervlak in de stal bedroeg 943 m² en was volledig ingestrooid met tarwestro. Gedurende de meetperiode nam de dikte van de strolaag toe met ca. 15 cm. De vloer van de strooiselruimtes was 70 cm lager dan de vloer van de voerruimte. De voergangen werden van de strooiselruimtes gescheiden door een hek. Voor de drinkwatervoorziening waren 24 drinknippels met bakje gelijkmatig in de strooiselruimten verdeeld. Er was een beperkte toetreding van daglicht in de stal door de ventilatieopeningen. De melkgeiten waren gedurende de hele lactatieperiode in de stal aanwezig (geen uitloop en zomers geen beweiding). Jonge geiten bevonden zich aan de noordoostkant van de stal; oudere, drachtige geiten en bokken stonden in de middelste strooiselruimte en aan de zuidwestkant van de stal. In de 4 strooiselruimtes konden de geiten zich vrij bewegen. In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de afmetingen en oppervlaktes van de functionele gebieden van de stal.

Tabel 1 Afmetingen en oppervlaktes van de functionele gebieden van de stal.

Table 1 Dimensions and area of the different elements of the house.

	Aantal	Lengte (m)	Breedte (m)	Oppervlakte (m ²)
Stal	1	60	25	1.500
Strooiselruimte	4	57,5	4,10	943
Centrale gang + bergruimte	1	2,5	25	62,5
Voergang	2	57,5	4,30	494,5

De stal werd natuurlijk geventileerd door middel van een 35 centimeter brede open nok en inlaatopeningen in de lengtegevels. De inlaatopeningen, voorzien van een in hoogte verstelbaar zeil, hadden een maximale hoogte van 125 cm. De inlaatopening in de noordoostelijke zijde van de stal was 57,5 meter lang, de inlaat in de zuidwestelijke gevel was 45 meter lang.

2.2 Bedrijfsvoering

Gedurende de meetperiode was de stal gemiddeld bezet met 590 melkgeiten, 190 jongen, en 15 bokken van het Saanen ras. Het stro-oppervlak per geit was hierdoor 1,2 m². In een potstal is een ligruimte vereist van 1,1-1,5 m² per geit (Handboek Geitenhouderij, 2000). De melktijden waren 's ochtends tussen 5:15 en 7:15 uur en 's avonds tussen 17:30 en 19:30 uur.

De stal was natuurlijk geventileerd en had geen verwarming. Afhankelijk van het weertype (temperatuur, wind, luchtvochtigheid) werden de inlaatopeningen in de zijgevels van de stal handmatig meer of minder open gezet. Tijdens de metingen werd de inlaat enigszins beperkt door het zeil voor 70% te sluiten.

Het rantsoen van de dieren bestond uit een ruwvoermengsel en krachtvoer. Het ruwvoermengsel bestond uit 60% ingekuild snijmaïs, 40% ingekuild gras en citruspulp, krachtvoer uit capribiks en rundveebiks tempo. Dit werd dagelijks om 10:00 uur met behulp van een voermengwagen in de voergangen verstrekt. In Tabel 2 staat de samenstelling van de verschillende voercomponenten. Langs beide zijden van de voergangen werd dagelijks tussen 10:00 en 10:30 uur tarwestro verdeeld. Indien het stroniveau in de pot op gelijke hoogte kwam met de voergang, werd met een kleine shovel de stromest uit de stal verwijderd. De vloer werd vervolgens weer bedekt met een schone strolaag van ca. 10 cm. Twee weken voor aanvang van de metingen is dit gebeurd; tijdens de metingen kwam dit niet voor. Gemiddeld werd 0,4 kg stro per geit per dag in de pot gestrooid.

Tabel 2 Samenstelling van de verschillende voersoorten

Table 2 Components of the various foodstuffs.

Voersoort	VEM (-)	Ruw eiwit (g/kg)	NH ₃ -fractie (%)
Ingekuild snijmaïs	954	75	-
Ingekuild gras (najaarskuil)	875	145	10
Citruspulp	1075	95	-
Capribiks	1114	204	-
Rundveebiks Tempo	1023	392	-

2.3 Metingen

Voor de uitvoering van de geurmetingen werd zoveel mogelijk de richtlijnen van het meetprotocol voor geuremissiemetingen gevolgd (Mol en Ogink, 2002). Afwijkend hierop zijn de meetperiode (4 in plaats van 12 maanden) en het tijdstip van de metingen. Er werden 10 geurmetingen uitgevoerd in de maanden augustus t/m december 2003. Het aanvangstijdstip van de metingen werd verschoven van 10:00 uur naar 11:00. Doordat tijdens het voeren de grote staldeuren tot ca 10:00 geopend waren, kon niet eerder met de metingen worden gestart.

Gedurende de metingen zijn de tracergasinjectie en -concentratie (SF₆) en de ammoniakconcentratie (NH₃) in de stal semi-continu gemeten. De temperatuur (°C) en de relatieve luchtvochtigheid (%) van de buitenlucht werden continu gemeten met een temperatuur- en vochtsensor (Rotronic Hygromer®). De nauwkeurigheid van deze sensor was resp. ± 1,0 °C

en $\pm 2\%$. De Rotronic was aan de noordoostzijde van de stal onder de dakrand geplaatst. De sensor werd voorafgaande aan en na afloop van de meetperiode gecontroleerd.

De meetapparatuur was geïnstalleerd in een mobiele meetwagen. De meetopstelling was geautomatiseerd met data-acquisitieapparatuur die door een industriële PC aangestuurd werd. 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 de Chrom-Card-software werden uitgelezen. Voorafgaande aan een geurmeting werd de meetapparatuur gekalibreerd. Alle veranderingen en werkzaamheden werden in een logboek bijgehouden.

2.3.1 Interne tracergasratio-methode

De interne tracergasratio-methode gaat uit van de aanname dat een geïnjecteerd tracergas en het gas waarvan de emissie bepaald moet worden, in dit geval geurcomponenten en ammoniak, 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 gasen direct terug te vinden in de verhouding van de gemeten gasgehalten. In het onderhavige meetobject werd verondersteld dat de geur en ammoniak vrijkomen vanuit de pot in de stal. Uitgangspunt voor de emissie van geur en ammoniak uit de stal is dat alle gevormde geur en ammoniak uiteindelijk de stal verlaat en daarmee de bronsterkte van geur en ammoniak gelijk te stellen is aan de geur- en ammoniakemissie.

Door een tracergas vrij te laten vlak boven de strolaag in de pot (bronniveau), zullen de verdelingen van het tracergas en ammoniak door de stal vergelijkbaar zijn (Scholtens en Huis in 't Veld, 1997). Aangenomen werd dat de injectie van tracergas als een oppervlaktebron beschouwd mocht worden en dat geur zich hetzelfde gedroeg als het tracergas. Na het vrijkomen van een gas vindt transport door en menging met stallucht plaats, waarna het gas de stal via een ventilatieopening verlaat. Uit de gemeten injectiehoeveelheid van het tracergas (Q_{tr}) en de concentraties van het tracergas (C_{tr}) en geur (C_{GEUR}) in de stal kan de emissie (E_{GEUR}) uit navolgende vergelijking berekend worden:

$$E_{GEUR} = \frac{C_{GEUR}}{C_{tr}} * Q_{tr} \quad (1)$$

De voornaamste voorwaarden voor emissiebepalingen volgens deze methode zijn dat:

- het tracergas nabij de geur- en ammoniakbron wordt geïnjecteerd;
- het verschil in dichtheid van het ingeblazen gasmengsel en de stallucht minimaal is;
- het tracergas en de emitterende gasen zich volledig hebben gemengd bij het monsternamapunt;
- de lucht in de stal representatief bemonsterd wordt.

2.3.2 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 tracergasmengsel 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 22 injectiepunten in de stal verdeeld. De injectiepunten waren gemonteerd aan de zijwanden in de lengterichting van de stal en aan weerszijden van de scheidingsmuur tussen de twee strooiselruimtes in het midden van de stal. Aan het begin van de meetperiode bevonden de injectiepunten zich op ca. 40 cm boven de strolaag. In Bijlage A is een plattegrond van de stal met de injectieplaatsen weergegeven. In Bijlage B is een aantal foto's van de meetlocatie opgenomen. Door de aangepaste vorm en het gebruik van een sinterfilter voor iedere orifice werd voorkomen dat de injectiepunten verstopt raakten.

De stallucht werd bemonsterd met een verzamelleiding van polyethyleen en een diameter van ¼ inch (0,635 cm). Deze verzamelleiding hing ca. 2 meter onder de nok. Ter voorkoming van vervuiling door inregenen was de verzamelleiding iets uit het lood ten opzichte van de nok geplaatst. Over de lengte van stal verdeeld werd op 5 punten stallucht aangezogen met een debiet van 500 ml/min per monsternamapunt. Voor de analyse van het SF₆-tracergas werd gebruik gemaakt van een gaschromatograaf (GC), die was uitgerust met een ECD-80 detector. De GC werd voorafgaande aan een geurmeting gekalibreerd met een gecertificeerd ijkgas van SF₆ in N₂ (49,7 ppb; ± 2%). De resultaten van de kalibraties van de GC zijn vermeld in Bijlage C.

2.3.3 Geurconcentratie

De geurmetingen vonden plaats tussen 11:00 en 13:00 uur, waarbij minimaal één uur bemonsterd werd. Het protocol (Werkgroep Emissiefactoren, 1996) beschrijft een meetperiode tussen 10:00 en 12:00 uur. Hiervan is afgeweken omdat de werkzaamheden in de stal (voeren) tot ca. 10:00 uur plaatsvonden. Tijdens deze werkzaamheden was het noodzakelijk dat de grote deuren aan de kopzijden van de voergangen geheel geopend waren. De meetmethode die werd gebruikt vraagt goed gemengde stallucht, wat bij openstaande deuren niet kan worden gegarandeerd. Daarom is besloten de metingen 1 uur te verschuiven zodat de luchtbeweging in de stal op moment van meten weer was gestabiliseerd. De geurmetingen werden zo veel mogelijk gelijkmatig verspreid over de meetperiode uitgevoerd. De luchtmonsters voor de tracergasmetingen werden ook voor de bepaling van de geurconcentratie gebruikt. Het stalluchtmonster werd via de verzamelleiding onder de nok van de stal aangezogen en in een geurzak geblazen. De stallucht werd vóór het monstervat gefilterd met een stoffilter (1-2 µm).

De geuranalyses werden uitgevoerd door het geurlaboratorium van A&F volgens de voornorm NVN 2820 met wijzigingsblad A1 (1995). Het gebruik van het wijzigingsblad houdt in dat gebruik werd gemaakt van het zogenaamde zekerheidscriterium 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 A&F 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 werden vermeld in resp. OU_E/m^3 , OU_E/s en $\text{OU}_E/\text{s}/\text{dier}$. De eenheid 'OU_E' staat hierbij voor 'European Odour Units'.

2.3.4 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 de 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 (ca. 250 ml/min) en daar gemeten.

Voorafgaande aan een geurmeting werd de monitor gekalibreerd met 10,0 ppm NO-gas. De gemiddelde kalibratieresultaten van de monitor staan 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 voor en na de meetperiode gekalibreerd. Deze gemiddelde omzettingspercentages staan in Bijlage D.

2.4 Dataverwerking

De geregistreerde meetwaarden werden omgerekend naar uurgemiddelde waarden voor de betreffende fysische grootheden. Voor de injectie van het tracergas werd voor aanvang en na afloop van de meetperiode een ijkcurve van de betreffende Mass Flow Controller opgesteld. Het gemiddelde van beide ijkcurves werd gebruikt voor de bepaling van de injectiehoeveelheid. De uurgemiddelde ammoniakconcentraties werden gecorrigeerd voor de rendementen van de convertors en voor het verloop van de monitor die uit de kalibraties met ijkgas volgde. Aan de hand van de kalibraties met een ijkgas werden de uurgemiddelde tracergasconcentraties lineair gecorrigeerd voor het verloop van de GC tussen twee kalibraties.

De geur- en ammoniakemissie uit de stal werden berekend volgens de interne tracergasratio-methode. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de mengfactor K_M (m^3/min). De mengfactor is de verhouding tussen de geïnjecteerde hoeveelheid tracergas (Q_w) en de tracergasconcentratie in de stal (C_w) en geeft als het ware aan hoeveel lucht er nodig is geweest om het geïnjecteerde tracergas te verdunnen tot de gemeten concentratie. De mengfactor wordt hier als maat voor de luchtverversing gebruikt. In Bijlage E wordt het begrip mengfactor nader toegelicht.

De volgende vergelijking beschrijft de berekeningswijze van de geuremissie volgens de interne tracergasratio-methode in de praktijk:

$$Q_{GEUR}^{NTP}(i) = \frac{Q_{SF_6}^{NTP}(i)}{C_{SF_6}(i)} * C_{GEUR}(i) = K_M * C_{GEUR}(i) \quad (2)$$

waarin:

- $Q_{GEUR}(i)$: geurbronsterkte op uur i (OU_E/min);
- $Q_{SF_6}(i)$: uurgemiddeld SF_6 -injectie tijdens uur i (ml/min);
- $C_{SF_6}(i)$: uurgemiddelde SF_6 -concentratie van de stallucht tijdens uur i (ppm);
- $C_{GEUR}(i)$: uurgemiddelde geurconcentratie van de stallucht tijdens uur i (OU_E/m^3);
- K_M : mengfactor (m^3/min);
- $i = 1 \dots 2$: uur op een dag;
- NTP : normaaltemperatuur (273,15 K) en -druk (1013,25 hPa).

De geuremissie E_{GEUR} (OU_E/s) werd berekend door het product van de geurconcentratie C_{GEUR} (OU_E/m^3) en de mengfactor K_M (m^3/min) te delen door 60 (aantal seconden per minuut). Van de geuremissiecijfers werd het natuurlijk logaritme (LN) berekend en deze werden gemiddeld over de monsternameperioden. Het geometrisch gemiddelde werd vervolgens weer door omzetting via de exponentiële functie op normale schaal uitgedrukt. Tenslotte werd de geuremissie per dierplaats berekend.

Analoog aan bovenstaande redenering werd de ammoniakbronsterkte ($Q_{GEUR}(i)$, ml/min) bepaald uit het product van de mengfactor K_M (m^3/min) en de ammoniakconcentratie van de stallucht ($C_{NH_3}(i)$, ppm). Door hierbij de gemeten ammoniakconcentratie in ppm met een factor 0,76 (bij 0 °C en 1 atm.) om te rekenen naar mg NH_3 per m^3 lucht (Weast *et al*, 1986), werd de ammoniakemissie in g per uur berekend.

De achtergrondconcentratie van het tracergas werd gelijk verondersteld aan de landelijk gemiddelde achtergrondconcentratie van SF_6 (0 ppb). Aangezien er geen storende elementen in de nabije omgeving van de stal aanwezig waren, werd ook de achtergrondconcentratie van geur en ammoniak gelijk aan nul verondersteld.

3 Resultaten

3.1 Productieresultaten

In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de voor de melkgeitenhouderij belangrijkste kengetallen. Naast de productieresultaten gedurende de meetperiode worden de landelijke gemiddeldes gegeven.

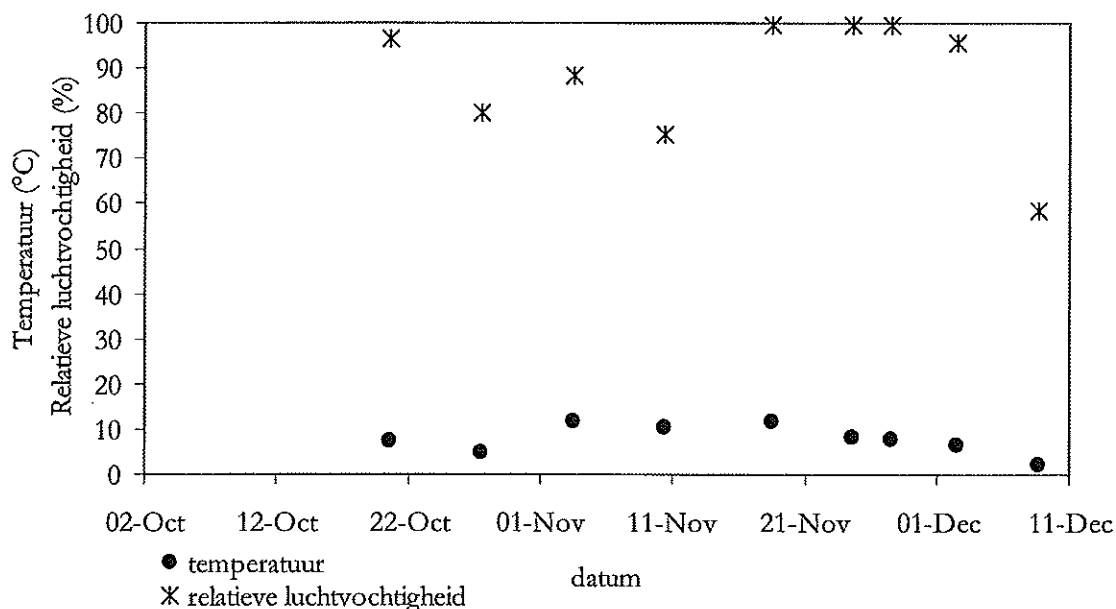
Tabel 3 Productieresultaten tijdens de meetperiode en het landelijk gemiddelde voor melkgeiten.
Table 3 Production results during the measuring period and the national standard for dairy goats.

	Productieresultaten	Landelijk gemiddelde*
Gemiddelde melkproductie (kg/dier/dag)	2,64	2,32
Gemiddeld vetgehalte van de melk (%)	3,84	4,05
Gemiddeld eiwitgehalte van de melk (%)	3,29	3,37
Gemiddelde melkproductie in 2002 (kg/dier)	966	847
Gemiddelde melkproductie in 2003 (kg/dier)	935	-

* bron: Countus accountants + adviseurs

3.2 Klimaat en luchtverversing

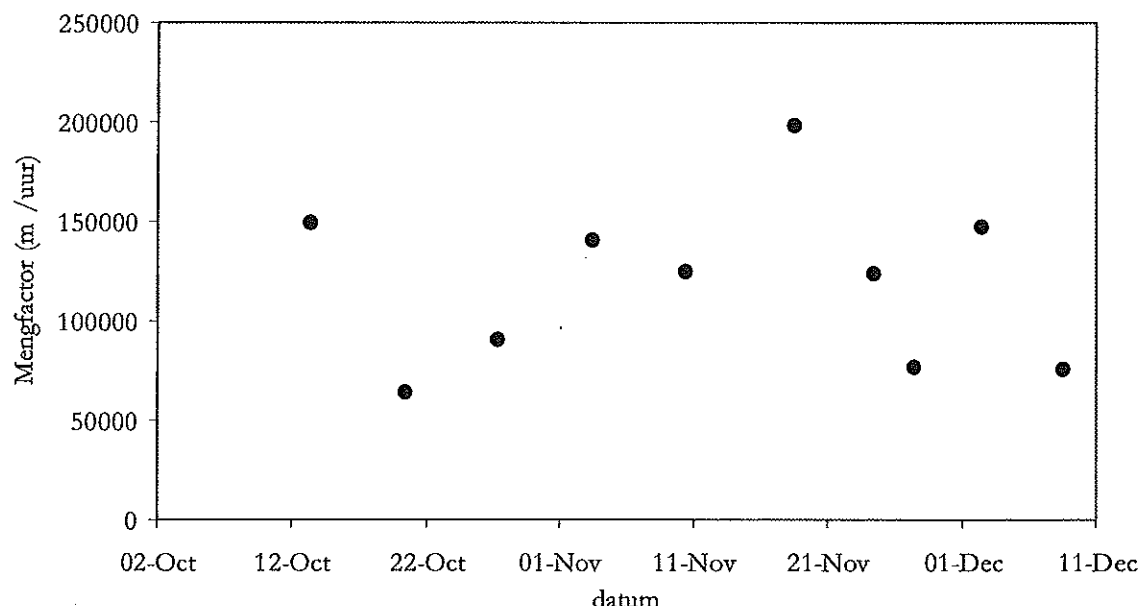
De gemiddelde buitentemperatuur tijdens de 10 metingen was 7,9 °C (maximum: 11,9°C, minimum: 2,3°C). De relatieve vochtigheid van de buitenlucht was gemiddeld 88% (maximum: 99%, minimum: 58%). In Figuur 1 worden de uurgemiddelden van de temperatuur en van de relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht tijdens de geurmetingen grafisch weergegeven.



Figuur 1 Gemiddelde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht tijdens de geurmetingen.

Figure 1 Average outdoor temperature and relative humidity during the odour measurements.

De mengfactor is als maat voor de luchtverversing gebruikt. De berekende mengfactor per gemiddeld aanwezig dier was gemiddeld 148 m³/uur. In Figuur 2 zijn de uurgemiddelden van de mengfactor tijdens de metingen grafisch weergegeven.



Figuur 2 Gemiddelde mengfactor tijdens de geurmetingen.

Figure 2 Average dispersion factor during the odour measurements.

3.3 Geurconcentratie en -emissie

In Tabel 4 wordt de geometrisch gemiddelde geurconcentratie van de uitgaande stallucht en de geuremissie uit de stal en per dierplaats gegeven. Tevens zijn de gemeten minima en maxima vermeld. De geometrisch gemiddelde geuremissie over 10 metingen was 19,5 OU_E/s per dierplaats. In Figuur 3 wordt de geuremissie per meting grafisch weergegeven.

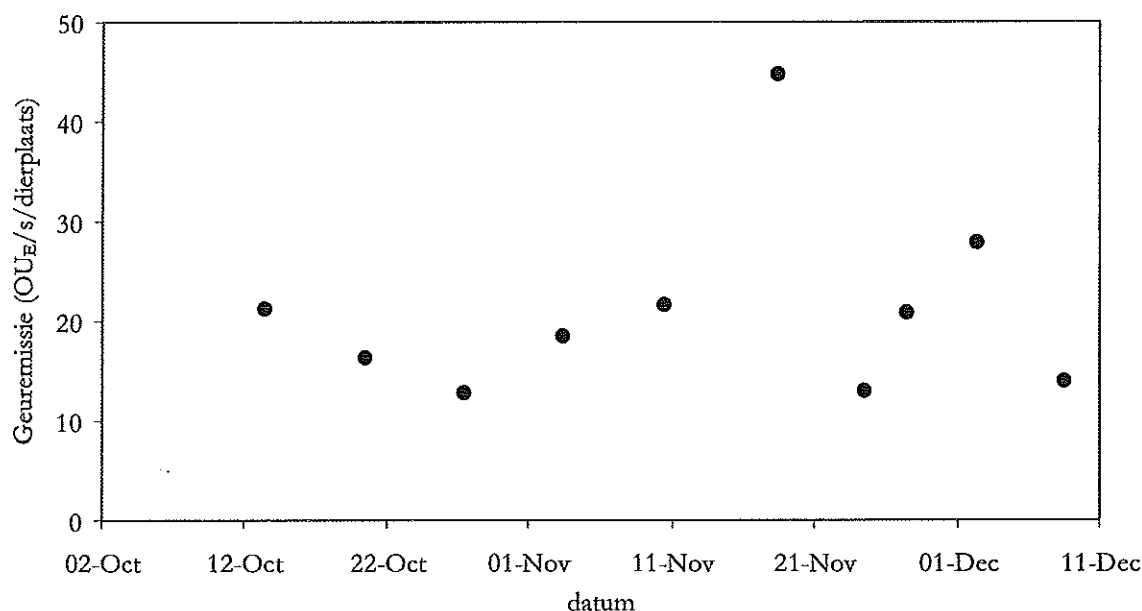
Tabel 4 (Geometrisch) Gemiddelde, minimum en maximum van de geurconcentratie van de uitgaande stallucht, luchtverversing en geuremissie uit de stal en per dierplaats.

Table 4 (Geometrical) Mean, minimum and maximum odour concentration of indoor air, exchange rate and odour emission from the house and per animal.

	Gemiddeld	Minimum	Maximum
Aantal dierplaatsen (-)	725	-	-
Gemiddeld aantal aanwezige dieren (-)	805	792	832
Geurconcentratie stal (OU _E /m ³)	460*	273	712
Luchtverversing (m ³ /uur)	116.973	63.600	180.000
Geuremissie (OU _E /s)	14.166*	9.291	32.350
Geuremissie per dierplaats (OU _E /s)	19,5*	12,8	44,6
Standaard spreiding (-)	9,3**	-	-

* geometrisch gemiddelde

** standaard spreiding over de natuurlijke resultaten



Figuur 3 Geuremissie tijdens de 10 metingen.

Figure 3 Odour emission during the 10 measurements.

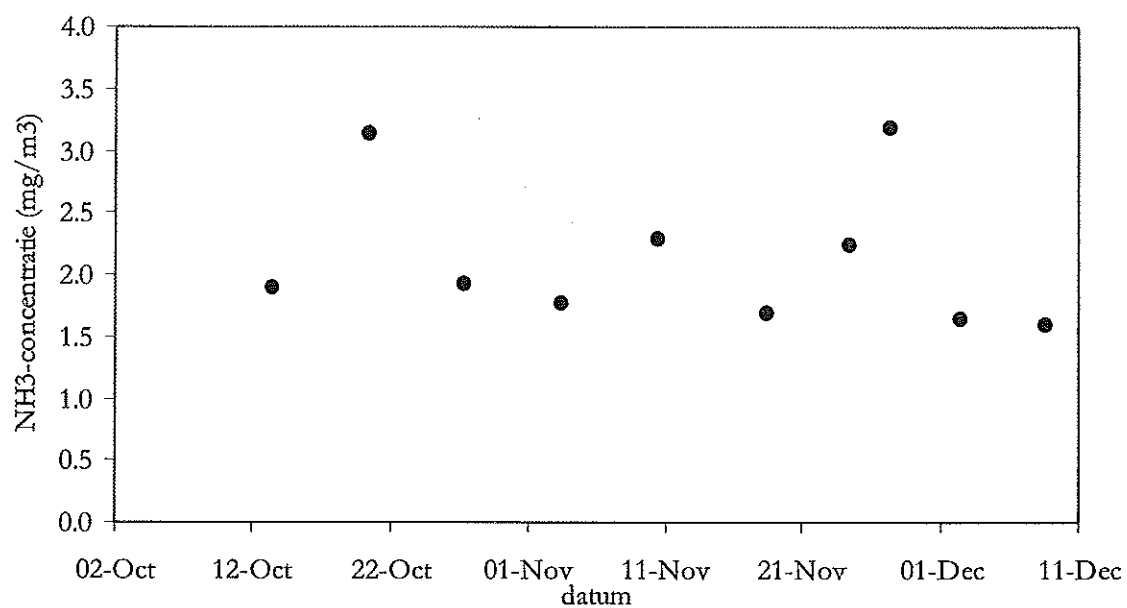
3.4 Ammoniakconcentratie en -emissie

Tijdens de geurmetingen is de ammoniakconcentratie in de stal gemeten. In Tabel 5 zijn de basisgegevens en de resultaten van de berekeningen van de ammoniakemissie per jaar per dierplaats weergegeven. Tevens zijn de gemeten minima en maxima vermeld. Op basis van de gegevens verzameld tijdens de 10 geurmetingen bedroeg de ammoniakemissie 2,9 kg/jaar per dierplaats. De uurgemiddelden van de gemeten ammoniakconcentraties tijdens de geurmetingen zijn grafisch weergegeven in Figuur 4. De ammoniakemissie per dierplaats per meting is in Figuur 5 grafisch weergegeven.

Tabel 5 Gemiddelde, minimum en maximum ammoniakconcentratie van de uitgaande stallucht, ammoniakemissie uit de stal en per dierplaats.

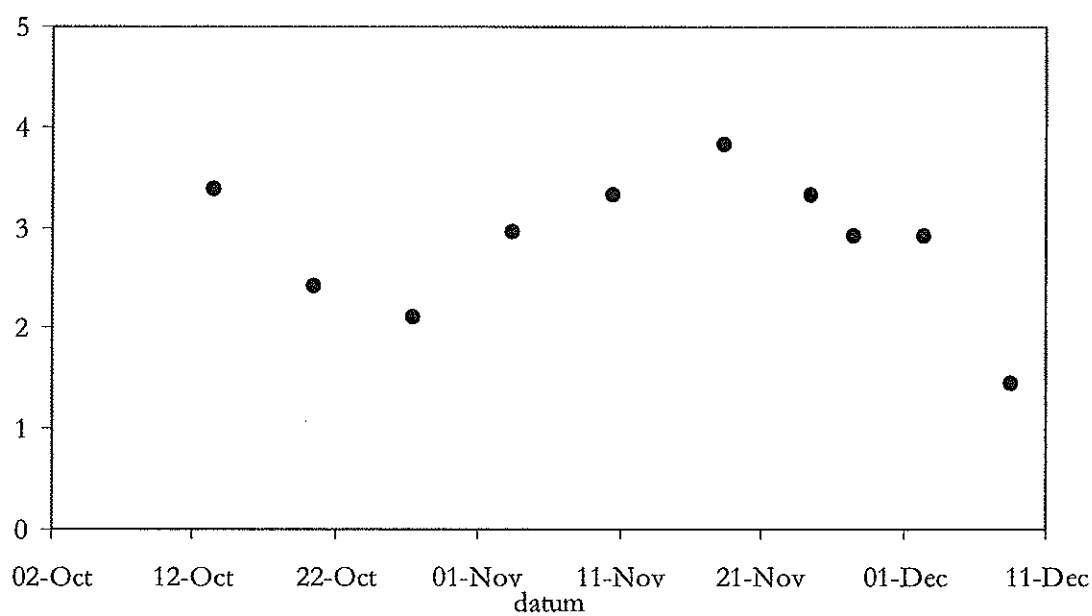
Table 5 Mean, minimum and maximum ammonia concentration of indoor air, ammonia emission from the house and per animal.

	Gemiddeld	Minimum	Maximum
Aantal dierplaatsen (-)	725	-	-
Gemiddeld aantal aanwezige dieren (-)	805	792	832
Ammoniakconcentratie in stal (mg/m ³)	2,13	1,59	3,17
Ammoniakemissie (g/uur)	237	120	317
Ammoniakemissie per dierplaats (kg/jaar)	2,9	1,5	3,8



Figuur 4 Gemiddelde ammoniakconcentratie tijdens de geurmetingen.

Figure 4 Average ammonia concentration during the odour measurements.



Figuur 5 Gemiddelde ammoniakemissie gedurende de 10 metingen.

Figure 5 Average ammonia emission during the 10 measurements.

4 Discussie

Wanneer de gemeten geuremissie per dierplaats uit het huidige onderzoek (19,5 OU_E/s) vergeleken wordt met de geuremissie zoals die gemeten is in de zomer van 1999 (18,2 OU_E/s) en in de winter van 1999/2000 (18,3 OU_E/s), blijkt dat de geuremissies in dezelfde orde van grootte liggen, de uitgevoerde t-toets gaf geen significante verschillen ($P > 0,10$). Tabel 6 geeft een vergelijking van enkele meetresultaten van beide locaties en enkele opvallende verschillen in management die de geuremissie zouden kunnen beïnvloeden

Tabel 6 Vergelijking meetresultaten van en verschillen in management tussen onderhavig en vorig onderzoek.

Table 6 Comparison of measuring results and differences in management between present and previous research.

	Onderhavig onderzoek	Onderzoek zomer 1999	Onderzoek winter 1999/2000
Meetresultaten			
Buitentemperatuur (°C)	7,9	14,4	4,0
Luchtverversing tijdens geurmetingen (m ³ /uur per aanwezig dier)	148	348	310
Aantal geurmetingen	10	6	4
Geurconcentratie stal (OU _E /m ³)	460	205	215
Geuremissie per dierplaats (OU _E /s)	19,5	18,2	18,3
Standaard spreiding (natuurlijke getallen)	9,3	8,8	19,8
Bedrijf/Management			
Strooiseloppervlak (m ²)	943	159	159
Aantal dierplaatsen (-)	725	122	122
Gemiddeld aantal aanwezige dieren (-)	805	100	159
Samenstelling veestapel	15 bokken	geen bokken	geen bokken
Ruwvoer rantsoen	ingekuuld maïs en gras (hoge NH ₃ -fractie)	hooi en stro	hooi en stro

De meetresultaten van het onderhavige onderzoek en het onderzoek in 1999/2000 laten zich goed vergelijken. Duidelijk springt in het oog dat de luchtverversing in het onderzoek 1999/2000 een factor 2 hoger lag. De geurconcentraties lagen echter in 1999/2000 beduidend lager, waardoor de geuremissie nauwelijks verschilde. Voor mechanisch geventileerde stallen wordt de geuremissie relatief meer verhoogd bij een toenemende ventilatiedebiet. Deze relatie werd in dit onderzoek niet gevonden. Mogelijk ligt deze relatie voor natuurlijk geventileerde stallen anders. In het huidige onderzoek was er sprake van een lichte overbezetting in de stal. Volgens de huidige welzijnsnormen dient het stro-oppervlak 1,3 m² per dier te zijn. Met een totaal stro-oppervlak van 943 m² in de gemeten stal betekent dit dat de stal plaats biedt aan 725 dieren. De geuremissie (19,5 OU_E/s) is gebaseerd op dit aantal beschikbare dierplaatsen. Indien de geuremissie uitgedrukt wordt in OU_E/s per daadwerkelijke aantal dieren in de stal, levert dit per dier een emissie van 17,4 OU_E/s. In het onderzoek dat werd uitgevoerd op de andere locatie werden de meetresultaten berekend met het gemiddeld aantal aanwezige dieren. Wanneer de geur- en ammoniakemissieresultaten in het vorige onderzoek worden berekend op basis van het

aantal dierplaatsen wordt de geuremissie per dier voor de zomerperiode in 1999 14,9 OU_E/s en 23,8 OU_E/s voor de winterperiode in 1999/2000. Voor de ammoniakemissie per dier wordt dit respectievelijk 4,4 kg/jaar en 2,8 kg/jaar.

Bij de verschillen in management zou de aanwezigheid van bokken in de stal en het gebruik van ingekuild voer de geuremissie kunnen beïnvloeden. De metingen in 2003 vielen samen met het dekseizoen. Hierdoor waren een 15-tal bokken in de stal gehuisvest. Bokken geven in het dekseizoen een sterkere geur af dan melkgeiten. Tijdens de geurmetingen in 1999 en 2000 waren geen bokken in de stal aanwezig. Ingekuilde producten geven een sterkere geur af dan gedroogd voer. De hoeveelheid ingekuild voer in de stal was echter beperkt aangezien er geen voeropslag in de stal was. Het geurmonster werd ca. 30 min tot een uur na het voeren genomen.

Analoog aan bovengenoemde mogelijke oorzaken kan beredeneerd worden waardoor de ammoniakemissie uit het onderhavige onderzoek (2,9 kg/dierplaats/jaar) iets hoger uitvalt dan de emissie tijdens de winterperiode in 1999/2000 (2,1 kg/dier/jaar). Tevens dient hierbij worden opgemerkt dat de ammoniakemissie zoals bepaald in dit onderzoek gebaseerd is op slechts 10 metingen van 2 uur, waarbij de 10 metingen bovendien allen in het najaar vielen. In het onderzoek in 1999 en 2000 werd de ammoniakconcentratie gedurende 2 langere periodes continu gemeten.

5 Conclusies

Gebaseerd op 1,3 m² leefruimte per geit bedroeg de geometrisch gemiddelde geuremissie uit de natuurlijk geventileerde potstal met melkgeiten 19,5 OU_E/s per dierplaats. Dit resultaat wijkt niet af van eerdere metingen.

Gebaseerd op 10 metingen van 2 uur bedroeg de ammoniakemissie voor dit huisvestingssysteem 2,9 kg/jaar per dierplaats.

Literatuur

- Handboek Geitenhouderij, 2000. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden. Handboek februari 2000, Lelystad. Drukkerij Cabri b.v., 241 pp.
- Huis in 't Veld, J.W.H., E. Evers en G. Mol. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVII. Natuurlijk geventileerde potstal voor melkgeiten. IMAG, Wageningen, 2002; Rapport 2002-18, 19 pp. excl. bijlage.
- NNI. NVN 2820/A1 Luchtkwaliteit, sensorische geurmetingen met een olfactometer. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Maart 1995. (met wijzigingsblad A1, in brief aan geaccrediteerde instellingen 1996), 1995.
- Ogink, N.W.M. en J.V. Klarenbeek. Evaluation of a standard sampling method for determination of odour emission from animal housing systems and calibration of the Dutch pig odour unit into standardised odour units. In: Proceedings of the International symposium. Ammonia and odour control from production facilities; 1997; Vinkeloord, The Netherlands, 1997; p. 231-238.
- Ogink, N.W.M. en P.N. Lens. Geuremissies uit de veehouderij. IMAG, Wageningen, 2000; nota V2000-11, 36 pp.
- Ogink, N.W.M. en G. Mol. Uitwerking van een meetprotocol voor het meten van geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. IMAG, Wageningen, 2002; nota P2002-57, 31 pp.
- Scholten, R.. NH₃-convertor + NO_x-analyzer. In: E.N.J. Ouwerkerk (Ed.): Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, 1993; p. 19-22.
- Scholten, R. en J.W.H. Huis in 't Veld. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVI: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met betonroosters voor melkvee. Wageningen, DLO, 1997; Rapport 97-1006, 35 pp. excl. bijlage.
- VROM. Gezondheid en Milieu; Opmaat voor beleidsversterking., 53 pp. Tweede Kamer, vergaderjaar 2001-2002, 28 089 nr. 1.
- VROM. Nationaal Milieubeleidsplan: kiezen of verliezen. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, 1989.
- VROM. Nationaal Milieubeleidsplan 4; Een wereld en een wil: werken aan duurzaamheid. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, 2001.
- VROM en LNV. Richtlijn Veehouderij en Stankhinder 1996. Publicatie van de Ministeries van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag, 1996.
- Werkgroep Emissiefactoren, 1996. Meetprotocol voor geuremissies uit stallen. Verkrijgbaar via het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.

Weast, R.C., M.J. Astle and W.H. Beyer. Handbook of chemistry and physics, 67th Edition.
Florida, CRC Press Inc. Insert here your references, 1986.

Dankwoord

Onderzoek naar de emissie uit veestallen onder praktische omstandigheden vergroot het inzicht in en de kennis over de milieubelasting. Met deze kennis nemen de mogelijkheden om deze belasting te verminderen c.q. te voorkomen toe. Op verzoek van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer is onderzoek verricht naar de geuremissie van een potstal voor melkgeiten. Het onderzoek is uitgevoerd door de meetploeg van Agrotechnology & Food Innovations op het bedrijf van de familie Lammertink in Ambt Delden. Wij zijn alle partijen erkentelijk voor de gelegenheid die geboden is voor het meten van dit stalsysteem en voor de goede samenwerking.

Dr. Ir. C.E. van 't Klooster
Directeur Business Unit Agrisystems & Environment

Samenvatting

De problematiek van de geurhinder die wordt veroorzaakt door landbouwactiviteiten speelt een steeds belangrijkere rol in de wet- en regelgeving. De landbouwsector is, samen met de industrie en het wegverkeer, een belangrijke bron van geurhinder in Nederland. De belangrijkste overheidsdoelstelling voor beheersing van geurhinder in 2000 was stabilisatie op het niveau van 1985. Voor 2001 zijn deze cijfers niet veranderd. Voor het jaar 2010 geldt als doelstelling geen ernstige hinder. Ter onderbouwing en verdere ontwikkeling van de Richtlijn Veehouderij en Stankhinder 1996 wordt sinds 1996 in opdracht van de ministeries van LNV en VROM door A&F een meetprogramma uitgevoerd waarin de geuremissie van thans gangbare en nieuwe veehouderijsystemen wordt vastgesteld volgens een standaard meetprotocol.

In het onderhavige onderzoek werd de geuremissie voor melkgeiten bepaald. Het onderzoek werd uitgevoerd in de periode tussen augustus en december 2003. De praktijkstal waar het onderzoek plaats vond bood plaats aan 725 melkgeiten. De stal bestond was ingericht met 2 voergangen van 4,10 m breed en 4 strooiselruimtes van 4,10 bij 57,5 m waarin de geiten werden gehuisvest. Het netto strooiseloppervlak bedroeg 943 m². De stal werd natuurlijk geventileerd middels een 35 centimeter brede open nok en inlaatopeningen in de lengtegevels. De inlaatopeningen, voorzien van een in hoogte verstelbaar zeil, hadden een maximale hoogte van 125 cm.

De geurconcentratie werd 10 maal tussen 11:00 en 13:00 uur gemeten. In deze meetperiodes werd ook de ammoniak- en tracergasconcentratie in de stal en het klimaat buiten de stal gemeten. De geur- en ammoniakemissie uit de stal werden berekend volgens de interne tracergasratio-methode. Als tracergas werd zwavel-hexafluoride (SF₆) gebruikt. Het tracergas werd zodanig in de stal geïnjecteerd dat het zich vergelijkbaar met geur en ammoniak vanaf de strooisellaag (pot) kon verspreiden. Met een verzamelleiding onder de nok werd een mengmonster van de stallucht genomen. In dit mengmonster werden de tracergas-, geur- en ammoniakconcentraties gemeten. Voor de bepaling van de geur- en ammoniakemissie werd gebruik gemaakt van de verhouding tussen de geïnjecteerde hoeveelheid tracergas en de tracergasconcentratie in de stal, de mengfactor K_M .

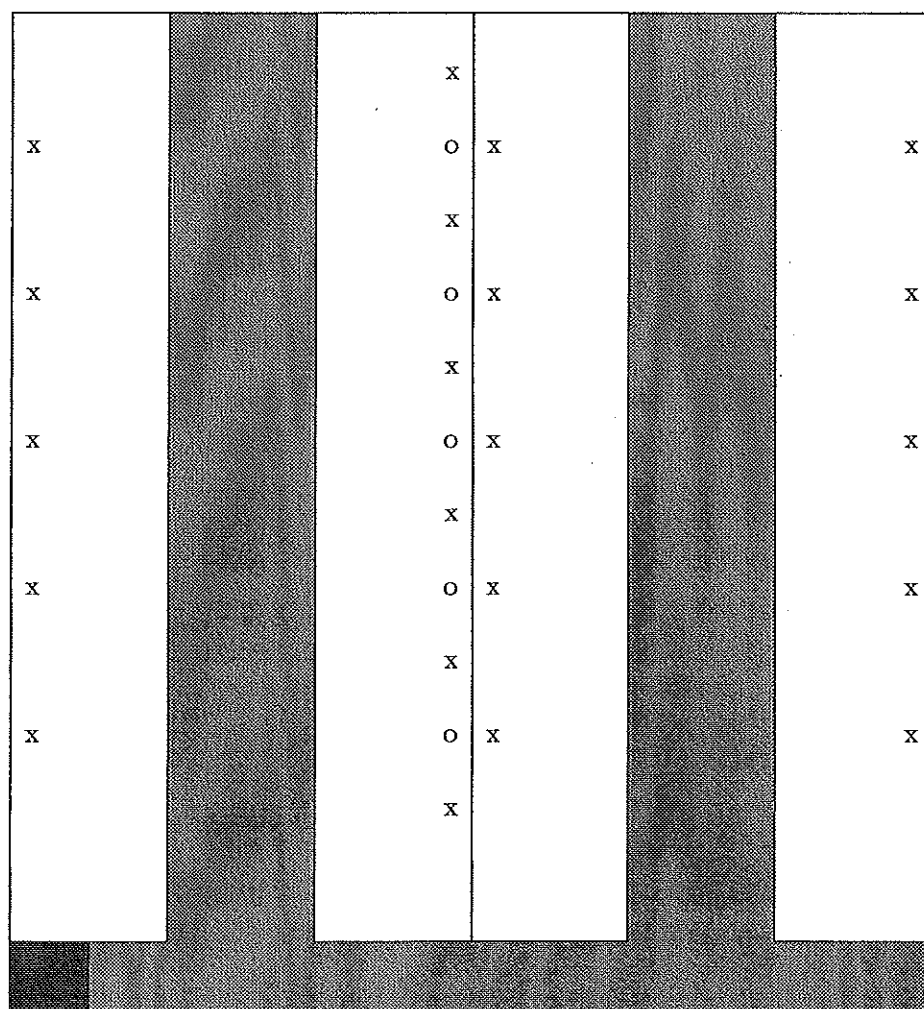
De gemiddelde buitentemperatuur was 7,9 °C. Als maat voor de luchtverversing per dierplaats is de mengfactor van het tracergas gebruikt en deze bedroeg 164 m³/uur. De geometrisch gemiddelde geuremissie 19,5 OU_E/s per dierplaats. Gebaseerd op 10 metingen van 2 uur bedroeg de ammoniakemissie 2,9 kg/jaar per dierplaats.

Deze resultaten bevestigen het resultaat van een eerder onderzoek uit een natuurlijk geventileerde potstal voor melkgeiten. Ondanks enige verschillen in de bedrijfsvoering tussen beide onderzoeksstallen was het resultaat vergelijkbaar.

Bijlagen

Bijlage A	Plattegrond stal
Bijlage B	Foto's meetlocatie
Bijlage C	Kalibratieresultaten gaschromatograaf
Bijlage D	Principe en kalibratieresultaten NH ₃ -metingen
Bijlage E	Achtergrondinformatie mengfactor

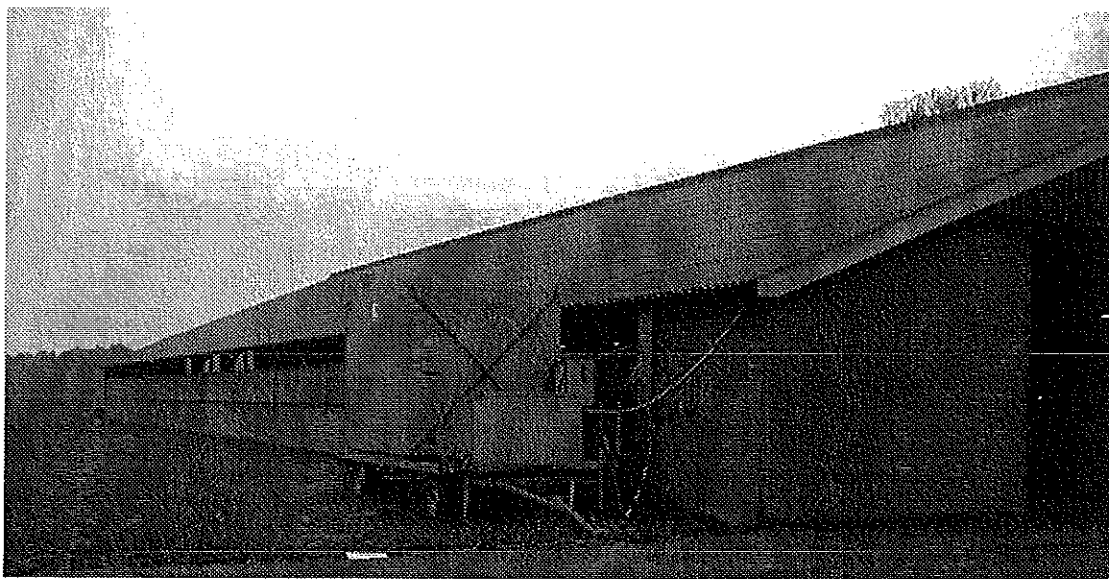
Bijlage A Plattegrond stal



- x injectiepunt voor tracergas
- o monsternamepunt in verzamelleiding
- strooiselruimte
- gangpad
- bergruimte

Figuur A1 Plattegrond van de stal met daarin aangegeven de injectie- en monsternamepunten.
Figure A1 Plan of the house with marked injection and sampling positions.

Bijlage B Foto's meetlocatie



Figuur A1 Aanzicht van de stal en meetwagen vanuit het noorden.

Figure A1 View of the house and the measuring unit from the north.



Figuur A2 Binnen in de stal.

Figure A2 Inside the house.

Bijlage C Kalibratieresultaten 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 monsternamapunt van de GC geleid. Iedere 15 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.

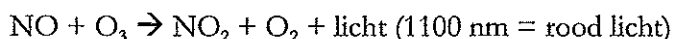
Kalibratieresultaten

De wekelijkse kalibraties van de gaschromatograaf zijn uitgevoerd met 49,7 ppb SF₆-gas in N₂. Tijdens de meetperiode bedroeg de absolute afwijking tijdens de kalibratie gemiddeld 9,5%. Dit is op zich aan de hoge kant, maar levert in het kader van dit onderzoek geen problemen op. Tussen twee geurmetingen in is immers niet gemeten. Bovendien zijn de kalibraties telkens vlak voor een geurmeting uitgevoerd, waardoor het verloop van de gaschromatograaf tijdens een geurmeting verwaarloosbaar klein is.

Bijlage D Principe en kalibratieresultaten NH₃-metingen

Meetprincipe

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



Om NH₃ te kunnen meten moet het eerst door een convertor omgezet worden tot NO. In de convertor wordt de luchtstroom 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 polyethyleenslangen 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 10 ppm. De wekelijkse kalibratie van de monitor werd uitgevoerd met 10,0 ppm NO-gas in N₂. Gedurende de meetperiode bedroeg de absolute afwijking tijdens de kalibratie 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.

Het gemiddelde omzettingspercentage van de convertors bij aanbieding van ongeveer 10 ppm NH₃ in N₂ bedroeg tijdens de meetperiode 96%. Bij de metingen zijn 2 convertors gebruikt, waarvan de omzettingspercentages zijn bepaald voor het begin en na het einde van de meetperiode. Na iedere ammoniakmeting wordt het aangevoerde luchtmonster middels een driewegklep door de andere convertor geleid. Voor de correctie van de ammoniakconcentratie is het gemiddelde van de omzettingspercentages van de aanwezige convertors gebruikt.

Bijlage E Achtergrondinformatie mengfactor

De ammoniakemissie uit natuurlijk geventileerde stallen wordt 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.

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_0 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' ($K' = K \cdot L$) met dimensie ($s \cdot m^{-1}$).

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_0 wordt de sterkte van de NH_3 -bron bepaald volgens:

$$Q_{NH_3} = \frac{A_0 \cdot C_{NH_3}}{K'} = K_M \cdot C_{NH_3}$$

Omdat A_0 constant is kunnen K' en A_0 samengevoegd worden tot de mengfactor $K_M (= A_0 / K')$ met dimensie ($m^3 \cdot s^{-1}$).

Randvoorwaarden voor de interne tracergasratio-methode zijn dat:

- een goede menging plaatsvindt tussen het tracergas en ammoniak;
- een 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;
- bemonstering mogelijk met verschillende technieken:
 - o spuitjes, canisters (gemiddelde concentratie over een meetperiode)
 - o GC-ECD (semi-continu concentratiemetingen)
- commercieel beschikbaar.

Voor toepassing in praktijkstallen heeft SF_6 de volgende nadelen:

- SF_6 heeft een zeer hoog molecuulgewicht, waardoor een geïnjecteerde gasstroom met puur SF_6 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 SF_6 in de injectie- en monsternaleidingen geabsorbeerd wordt moeten polyethyleen (PE) leidingen worden gebruikt (geen teflon).
- Het broeikasgaseffect van SF_6 is groot in vergelijking met andere gassen. Aangezien zeer lage SF_6 concentraties gemeten kunnen worden, blijven de geïnjecteerde hoeveelheden SF_6 beperkt.

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