



Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien&Kansen-bedrijven en De Marke; resultaten van diverse, korte meetsessies



december 2006

Rapport 35



Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 – 238 238
Fax 0320 – 238 022
E-mail : info@koeienenkansen.nl
Internet <http://www.koeienenkansen.nl>

Redactie

Koeien & Kansen

Aansprakelijkheid

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

Bestellen

ISSN 0169-3689
Eerste druk 2007/oplage 80
Prijs € 15,-

De rapporten zijn op de website te bekijken en te downloaden.

'Koeien & Kansen'

is een samenwerkingsproject van 16 melkveehouders, Proefbedrijf De Marke, ASG Veehouderij, PRI, LEI, NMI, CLM en DLV

Doel is het in de praktijk ontwikkelen, onderzoeken en demonstreren van duurzame melkveehouderij onder uiteenlopende omstandigheden op diverse grondsoorten.



Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien&Kansen-bedrijven en De Marke; resultaten van diverse, korte meet sessies

M.C.J. Smits
J.W.H. Huis in 't Veld

Samenvatting

Op K&K-bedrijven en op proefbedrijf De Marke zijn stalemissies van melkvee gemeten. Op alle bedrijven was het melkvee gehuisvest in ligboxenstallen met natuurlijke ventilatie. Alle K&K-bedrijven waarvan we stalemissies in dit rapport beschrijven, hadden een roostervloer in de melkveestal. De Marke had een sleufvloer in de melkveestal en past al sinds begin jaren 90 een stringent nutriëntenmanagement toe. Op de K&K-bedrijven is men eind jaren negentig begonnen met aanscherping van het nutriëntenmanagement. De emissiemetingen zijn enkele jaren later gestart.

Om de ammoniakemissie te kunnen bepalen uit de natuurlijk geventileerde stallen is gebruik gemaakt van een tracergas waarvan een bekende, constante hoeveelheid gedoseerd werd in de stal ter hoogte van de vloer. Van de uitgaande lucht in de nok (de ventilatieuitlaat) werd tijdens de meetsessies continu de concentratie van het tracergas en van ammoniak gemeten. Uit de verhouding tussen beide gasconcentraties en het bronniveau van het tracergas werd de ammoniakemissie herleid.

Dit rapport geeft een beschrijving van gemeten stalemissies onder verschillende omstandigheden. In K&K rapport 17 zijn eerder al resultaten van een eerste meetsessie per bedrijf beschreven. In het onderhavige rapport zijn emissieresultaten van latere meetsessies en die van de eerste meetsessie beschreven in samenhang met variabelen, zoals stikstofexcretie, ureumgehalte en ventilatieniveau.

De meetresultaten hebben betrekking op korte meetperioden van enkele dagen tot enkele weken. Binnen meetperioden waren er veelal vrij constante omstandigheden. Om de emissie op jaarbasis te bepalen, zou gecorrigeerd moeten worden voor de specifieke omstandigheden (klimaat, weidegang, enz.) tijdens de korte meetperioden. Door verstrengeling van factoren en variaties tussen en binnen bedrijven zijn de invloeden van afzonderlijke factoren niet eenvoudig aan te geven. Daar is een meetcampagne in de brede melkveehouderijpraktijk voor nodig.

De emissieresultaten worden in dit rapport eerst per meetsessie weergegeven bij de gemeten temperatuur en het gerealiseerde aantal uren weidegang, zonder daarvoor correcties toe te passen op de gemeten emissies (paragraaf 3.1). Daarna worden voor temperatuur en uren weidegang gecorrigeerde emissieresultaten beschreven (paragraaf 3.2) in relatie tot ureumgehalten en ventilatie. Per graad Celsius is de emissie met ca 2,7% gecorrigeerd; per uur weidegang is de stalemissie met 2,4% gecorrigeerd. Deze correcties zijn ontleend aan eerder onderzoek.

Tussen en binnen K&K-bedrijven bestaan grote variaties in stalemissie; ten dele kunnen die verklaard worden door het tankmelkureumgehalte, maar op de meeste K&K-bedrijven was dit gehalte laag.

Daarnaast is echter ook de stalventilatie een belangrijke factor: hoge ventilatieniveaus resulteren in hoge ammoniakemissies. Bij grote ventilatieopeningen zijn automatisch geregelde gordijnen wellicht nuttig om de ventilatie en daarmee de emissie waar mogelijk te temperen. Ook met een sleufvloer kan de emissie (speciaal bij hoge ventilatieniveaus) beperkt worden.

Een grootschalige meetcampagne in de brede melkveehouderijpraktijk is nodig om het gemiddelde emissieniveau, de variaties en de invloeden van belangrijke invloedsfactoren goed te kwantificeren.

Inhoudsopgave

Samenvatting

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methoden	2
2.1	Proefopzet.....	2
2.2	Ammoniakemissie meetmethode	4
2.3	Correctie voor weidegang en temperatuur op basis van eerder onderzoek	5
2.4	Stalklimaat en meteorologie.....	6
2.5	Indicatieve bemonstering urine	6
2.6	Voerregistratie, melkproductieregistratie en stikstofexcretie	6
3	Resultaten	7
3.1	Meetresultaten per meetsessie	7
3.2	Mogelijke oorzaken van verschillen in emissie	10
3.2.1	Ventilatie en ammoniakemissie	10
3.2.2	Ureumgehalte en ammoniakemissie	10
4	Discussie	16
5	Conclusies en aanbevelingen	19
	Literatuur	20
	Bijlagen	22
Bijlage 1	Eerdere ammoniakemissiemetingen melkvee	22
Bijlage 2	FPCM, DS-opname en RE-gehalte van het rantsoen	24
Bijlage 3	Wijzigingen in stalsituaties.....	25
Bijlage 4	Seizoensafhankelijke locale ruwheid.....	26
Bijlage 5	Meer informatie tracergasratiomethode tijdens meetsessie bij Pijnenborg in ronde 2	27
Bijlage 6	Dalende trend tankmelkureumgehalte (Bron: MNP, 2006).....	28

1 Inleiding

De melkveehouderij in Nederland is verantwoordelijk voor ongeveer de helft van de nationale ammoniakuitstoot uit de agrarische sector. De ammoniakemissie van melkvee in Nederland is voor ruim 40% afkomstig uit stallen. Een ongeveer even groot deel is afkomstig van toediening van dierlijke mest en circa 14% is afkomstig van weidegang. Minder dan 3% van de emissie van melkvee komt uit mest van melkvee die buiten de stal is opgeslagen (gebaseerd op Milieubalans 2006). Door een trend naar minder weidegang wordt het belang van de emissiebronnen, stal en mesttoediening groter.

Aan stallen in de varkens- en pluimveehouderij zijn wettelijke eisen gesteld; die moeten (op bedrijfsniveau) emissiearm worden. Melkveestallen zijn gevrijwaard van de verplichting om emissiearm te bouwen, onder voorwaarde dat de sector in 2010 een daling van het tankmelkureumgehalte tot 20 mg/100 ml melk heeft bereikt.

In dit rapport wordt de variatie in ammoniakemissie verkend op een aantal melkveebedrijven in Nederland die streven naar een duurzame bedrijfsvoering in de praktijk: de K&K-bedrijven. Dit op basis van uitvoerige emissiemetingen en bedrijfsgegevens (inclusief het melkureumgehalte) die op deze bedrijven verzameld zijn. Naast stalemissies op K&K-bedrijven zijn ook op proefbedrijf De Marke stalemissies gemeten. De Marke past al lange tijd een stringent nutriëntenmanagement toe; ook de aanwezigheid van een sleufvloer in de melkveestal maakt dit bedrijf interessant voor vergelijking met de K&K-bedrijven die een roostervloer in de melkveestal hebben.

In dit rapport zijn de gemeten stalemissies van ammoniak van 13 K&K-bedrijven en proefbedrijf De Marke tijdens een of meerdere meetperioden beschreven. Hoofddoelen van deze rapportage zijn:

- beschrijving van gemeten stalemissies onder verschillende omstandigheden op K&K-bedrijven (melkveestallen met roostervloeren) en De Marke (melkveestal met sleufvloer);
- verkenning van belangrijke invloeden zoals tankmelkureumgehalte en ventilatieniveau.

Aanvankelijk was het doel van de stalemissiemetingen het vastleggen en het monitoren van de ammoniakemissie in de tijd zodat de invloed van de veranderende bedrijfsvoering op de ammoniakemissie zou worden vastgesteld. Bij het monitoren was een korte meetperiode gewenst om zo verschillende meetlocaties in een korte tijd te kunnen meten. Bij de gehanteerde meetmethodiek bleek aanvankelijk een onderzoeksperiode van minimaal 3 weken nodig om een betrouwbaar emissieresultaat vast te leggen. De benodigde meetperiode was langer dan verwacht en de kosten van de meetsessies waren hoog. Om deze redenen is de opzet aangepast en hebben we gekozen voor een laagfrequentere meetstrategie. Na het uitbreken van de MKZ-crisis zijn de metingen tijdelijk opgeschort en daarna weer voorzichtig opgestart. Als gevolg van deze 'tegenvallers' kon wel aan de eerste doelstelling (vaststelling van stalemissies onder verschillende bedrijfsomstandigheden) worden voldaan, maar konden slechts in beperkte mate herhalingen in de tijd plaatsvinden.

Het doel van het project "Koeien en Kansen" is om met de deelnemende veehouders tot een duurzame bedrijfsvoering te komen. Het hoofddoel is het versneld voldoen aan de doelstellingen van het mestbeleid. De effecten hiervan op het grondwater (nitraatgehalte en fosfaatgehalte) worden gemonitord. Daarnaast zijn er projectdoelen voor energie en gewasbescherming en worden per bedrijf doelen gesteld voor bedrijfseconomie, natuur, landschap en dierwelzijn.

In K&K rapport 17 (Huis in 't Veld *et al*, 2003) is de stalemissie van ammoniak van 12 K&K-bedrijven en van De Marke tijdens één meetperiode reeds beschreven. In de eerste meetronde is op één K&K-bedrijf met een vlakke, dichte vloer (bedrijf Dekker) een succesvolle emissiemeting uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn echter niet in dit rapport verwerkt, omdat daarna geen metingen in deze stal met dichte vloer hebben plaatsgevonden. In K&K rapport 17 zijn de resultaten van de betreffende meting reeds beschreven. Hierna wordt deze meting buiten beschouwing gelaten.

In bijlage 1 zijn resultaten van elders uitgevoerde emissiemetingen samengevat. In de discussie worden de meetresultaten op K&K-bedrijven en De Marke daar kort mee vergeleken.

2 Materiaal en methoden

2.1 Proefopzet

In tabel 1 is een overzicht weergegeven van de bedrijven en begin- en einddata van de uitgevoerde meetsessies die wij in dit rapport beschrijven. In totaal betreft dit 23 meetsessies, waarvan 19 zijn uitgevoerd in melkveestallen met een roostervloer (K&K-bedrijven) en 4 in de melkveestal met sleufvloer op De Marke.

De emissie uit de melkveestal is in de eerste meetronde op 11 K&K-bedrijven met een roostervloer en op De Marke gemeten. In de tweede meetronde is op 7 K&K-bedrijven en op De Marke nogmaals gemeten. Deze tweede meting op K&K-bedrijven is voorzover de planning dit toeliet in een ander seizoen uitgevoerd dan de eerste meting. Als de eerste meting in de winter is uitgevoerd, is de tweede meting dus zoveel mogelijk in de zomer uitgevoerd en andersom.

Op enkele bedrijven is geen tweede meting uitgevoerd omdat de stal zich na verbouwing niet meer goed leende voor de meettechniek of omdat tijdens de eerste meting al problemen waren met de meettechniek. Op één K&K-bedrijf (Bomers) is een derde meting uitgevoerd omdat de meetresultaten in de tweede meetronde op dit bedrijf sterk afweken van de eerste ronde.

Op 'De Marke' zijn een derde en een vierde meting uitgevoerd omdat dit bedrijf in meerdere opzichten bijzonder was: enerzijds door een zeer scherp nutriëntenmanagement (o.a. lage eiwitgehalten in voer), anderzijds door aanwezigheid van een sleufvloer in de melkveestal. Alle K&K-bedrijven waarvan we de meetresultaten in dit rapport beschrijven, hadden een roostervloer in de melkveestal.

Bedrijfssituaties

In tabel 2 zijn de karakteristieken van de bedrijfssituaties tijdens de metingen weergegeven: de stalbezetting, de gemiddelde beweidingduur, de gemiddelde melkproductie (MPR) en het ureumgehalte van de tankmelk (RMO-monsters).

Bijlage 2 toont corresponderende gemiddelden van de voeropname en het ruweiwitgehalte van het rantsoen.

Bij de planning van metingen is gestreefd naar meten van stalemissies bij volledige stalvoeding (in de winter en in de zomer) én bij weidegang (in de zomer). Op sommige K&K-bedrijven wordt het melkvee niet geweid (zomerstalvoeding). Op veel bedrijven is de weidegang beperkt qua duur.

Op sommige bedrijven is de stalsituatie tussen meetsessies gewijzigd. In bijlage 3 zijn de belangrijkste wijzigingen weergegeven.

Natuurlijke ventilatie

Alle onderzochte stallen werden natuurlijk geventileerd door een open nok en ventilatieopeningen in de zijgevels. De openingen in de zijgevels waren voorzien van windbreekgaas of ze waren geheel open (soms in combinatie met kleppen of gordijnen). Op één bedrijf (De Kleijne) waren de openingen in de zijgevels voorzien van spaceboarding. De openingen in de zijgevels van de stallen strekten zich aan beide zijden uit over de totale lengte van de stal met uitzondering van het stalgedeelte waar de melkput was gelegen. Sommige melkveehouders regelden handmatig de stand van de kleppen of gordijnen, afhankelijk van de weerssituatie. De open nok varieerde in breedte en was soms afgeschermd tegen regeninval.

Tabel 1 Overzicht meetsessies: per ronde, bedrijven waar stalemissie gemeten is en periode (data van-tot) waarin succesvolle metingen zijn verricht. Alleen de range van dagen waarbinnen succesvolle metingen zijn verricht staan in de tabel; veelal ging hier een 'opwarmperiode' van enkele dagen vooraf

Bedrijf	Ronde 1		Ronde 2		Ronde 3		Ronde 4	
	van	tot	van	tot	van	tot	van	tot
De Marke ¹	28-06-'02	09-07-'02	24-11-'03	01-12-'03	28-05-'04	16-06-'04	20-09-'04	28-09-'04
Bomers	08-11-'00	21-11-'00	07-05-'03	16-05-'03	08-10-'04	14-10-'04		
Boekel	26-01-'02	31-01-'02	18-07-'03	22-07-'03				
Van Hoven	20-11-'01	30-11-'01	12-06-'03	17-06-'03				
Miedema	29-03-'02	15-04-'02	21-10-'03	25-10-'03				
Pijnenborg ² -Van Kempen	23-04-'02	12-05-'02	12-09-'03	16-09-'03				
Post	08-03-'02	20-03-'02	24-09-'03	26-09-'03				
De Vries	15-10-'01	22-10-'01	01-07-'03	07-07-'03				
Hoefmans	30-10-'01	13-11-'01						
De Kleijne	20-07-'01	10-08-'01						
Kuks	02-08-'02	06-08-'02						
Van Wijk	21-09-'01	04-10-'01						

¹ De Marke is "proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu", waar de bedrijfsvoering reeds lange tijd gericht was op het voldoen aan stringente milieunormen. Op dit bedrijf was de stalvloer uitgevoerd als sleufvloer; op de K&K-bedrijven was de stalvloer uitgevoerd als roostervloer.

² Op dit bedrijf werd ook een derde meet sessie uitgevoerd; de resultaten hiervan waren echter door meettechnische problemen niet bruikbaar.

Tabel 2 Per bedrijf de gemiddelde stalbezetting, de gemiddelde beweidingsduur en gemiddelde melkproductie tijdens de melkcontrole en het ureumgehalte van de tankmelk

Ronde	naam	N_EQmk	mk	weiden	FPCM	BMU
		n	%	uren	Per koe, kg/d	mg/100 ml
1	De Marke	73.0	100.0	5	30.4	19
2	De Marke	91.3	84.3	0	29.8	15
3	De Marke	90.6	84.0	4	25.8	20
4	De Marke	91.1	86.9	4	31.9	18
1	Bomers	113.0	92.5	0	20.1	22
2	Bomers	111.0	100.0	2	26.2	23
3	Bomers	100.3	99.6	0	23.0	14
1	Boekel	61.4	99.4	0	28.0	24
2	Boekel	54.0	100.0	19	24.7	30
1	Van Hoven	87.0	100.0	0	30.6	22
2	Van Hoven	92.3	100.0	8	28.0	21
1	Miedema	110.6	95.9	0	24.4	21
2	Miedema	146.2	96.4	7	22.5	22
1	Pijnenborg	89.1	92.9	5	27.3	22
2	Pijnenborg	97.0	89.9	0	25.8	30
1	Post	79.6	71.6	0	32.7	16
2	Post	83.6	92.1	0	31.8	24
1	De Vries	54.1	100.0	10	27.3	21
2	De Vries	73.0	100.0	15	25.8	24
1	Hoefmans	106.1	72.0	0	27.7	13
1	De Kleijne	66.7	98.9	8	24.8	20
1	Kuks	89.0	100.0	7	27.5	27
1	Van Wijk	72.0	100.0	0.5	28.6	23

N_EQmk: Het aantal N-equivalente melkkoeien; dit is berekend door de aanwezige jongveeaantallen te wegen naar hun relatieve N-excretie ten opzichte van een gemiddelde melkkoe.

mk, %: Het percentage van de N-equivalente melkkoeien dat uit melkkoeien bestaat (een volwassen koe is gelijk gesteld aan een N-equivalente melkkoe).

FPCM: 'Fat and Protein Corrected Milk'; hieronder verstaan we de melkproductie van de lacterende koeien na correctie van de melkgift voor vet en eiwitgehalte.

BMU: Het tankmelkureumgehalte is weergegeven zoals dit in de betreffende meetperiode vastgesteld is in monsters van de tankmelk bij de reguliere bemonstering bij het ophalen van de melk (frequentie meestal eens per 3 dagen).

2.2 Ammoniakemissie meetmethode

Tracergas-ratiomethode

De ammoniakemissiemetingen werden semi-continu uitgevoerd met behulp van de interne tracergas-ratiomethode. Deze methode is eerder uitvoerig beschreven door Scholtens en Huis in 't Veld (1997). Als tracergas werd zwavel-hexafluoride (SF₆) gebruikt. Dit gas werd bij de vloer in de stal geïnjecteerd via tracergasleidingen met uitlaatventielen, die gemonteerd werden aan de achterkant van de ligboxen. In de nok van de stal werd de stallucht bemonsterd met behulp van een leiding met meerdere luchtinlaten, zodat we in beginsel een representatief mengmonster kregen. De stallucht is geanalyseerd op ammoniak (door een convector en NO_x monitor) en SF₆ (door een gaschromatograaf).

De bronsterkte van NH₃ (ammoniakemissie) is vervolgens berekend met behulp van formule F1, ervan uitgaande dat NH₃ en SF₆ zich in de stallucht op identieke wijze verspreiden vanaf de bron.

$$MFSF_6 : MFNH_3 = CSF_6 : CNH_3$$

[F1]

waarbij:	
MFSF ₆	= massaflux van het tracergas SF ₆ dat bij de roostervloer is geïnjecteerd (g/uur)
MFNH ₃	= massaflux van NH ₃ vanaf de vloer en vanuit de kelder, d.w.z. de ammoniakemissie (g/uur)
CSF ₆	= concentratie van het tracergas SF ₆ in de stallucht (mg/m ³)
CNH ₃	= concentratie van NH ₃ in de stallucht (mg/m ³)

Alle meetapparatuur bevond zich in een mobiele container buiten de stal, de "meetshelter".

Alternatieve bepaling met CO₂ balans

Bij Bomers en Pijnenborg zijn de emissies in ronde 2 gebaseerd op een alternatieve bepaling van het ventilatie-debiet met behulp van de berekende kooldioxideproductie van de dieren (kg/dag) en de gemeten concentraties van CO₂ in de lucht die de stal in en uitgaat (formule F2). Dit vanwege meettechnische problemen met de standaard toegepaste tracergasratiomethode (tracergas SF₆).

De kooldioxideproductie van de dieren werd berekend aan de hand van het aantal dieren en het melkproductieniveau van de dieren (CIGR). De CO₂ concentratie in de nok (uitgaande stallucht) en de zijwanden (inkomende stallucht) werd gemeten met een CO₂ monitor.

$$V = \text{CO}_2\text{nok} - \text{CO}_2\text{zijwand} / \text{berekende CO}_2\text{productie} \quad [\text{F2}]$$

waarbij	
V	= debiet (m ³ /h)
CO ₂ nok	= kooldioxideconcentratie in de nok (g/m ³)
CO ₂ zijwand	= kooldioxideconcentratie in de zijwand met de laagste concentratie d.w.z. inkomende lucht (g/m ³)

Bij Bomers werd een lek in de SF₆-doseerleiding (buiten de stal) geconstateerd, waardoor de werkelijke dosering in de stal niet goed gekwantificeerd kon worden. Tijdens een latere meting op dit bedrijf (ronde 3) is dit lek gerepareerd.

Bij Pijnenborg verdween in ronde 2 waarschijnlijk een substantieel deel van de in de stal gedoseerde SF₆ vrijwel direct uit de stal door de ventilatieopeningen in de zijwand, bij de doseerpunten. In bijlage 4 is dit nader beschreven. In dit geval was het minder aannemelijk dat NH₃ (uit urineplassen en de toplaag in de mestkelder) en SF₆ (vanaf de doseerpunten) zich in de stallucht op identieke wijze verspreiden vanaf de bron.

Interpolatie ontbrekende uren emissie

Ontbrekende uurwaarden van ammoniakemissies zijn per meetsessie geïnterpoleerd met behulp van tijdreeksanalyse. Hierbij werden autoregressieve en 'moving average' processen met een tijdstap van 1 uur en met een tijdstap van 24 uur betrokken. Daarmee is aangenomen dat er een samenhang bestaat tussen waarnemingen in opeenvolgende uren en daarnaast tussen uurwaarnemingen van opeenvolgende etmalen (dagcycli). De methodiek voor interpolatie van emissies is eerder beschreven door De Boer (1993). Geïnterpoleerde waarden zijn alleen gebruikt als op dezelfde dag een deel van de uurwaarden wel beschikbaar was en ook op de voorafgaande of volgende dag emissiewaarden beschikbaar waren. Indien dit niet het geval was, hebben we de emissiecijfers van de betreffende dag verder buiten beschouwing gelaten.

De ammoniakemissie is na interpolatie gemiddeld per dag. Vervolgens is hieruit een gemiddelde per meetperiode berekend. In K&K-rapport 17 (Huis in t Veld et al., 2003) waren emissies van ontbrekende uren nog niet door interpolatie ingeschat. Hierdoor kunnen de gerapporteerde 'ruwe' gemiddelden in dat rapport enigszins afwijken van die in het onderhavige rapport.

2.3 Correctie voor weidegang en temperatuur op basis van eerder onderzoek

Monteny et al (2001) concludeerden op basis van modelberekeningen (Monteny, 2000) en stalmetingen (Ogink & Kroodsmas, 1996) dat de stalemissie bij weidegang afneemt met 2,4% per uur weidegang. De invloed van de duur van weidegang op de ammoniakemissie kon niet goed op basis van statistische analyse worden afgeleid uit de metingen in het onderhavige onderzoek. Dit door verstrengeling met andere factoren en doordat geen sprake was van een gebalanceerde proefopzet; er waren onvoldoende waarnemingen binnen bedrijven (met en zonder weidegang onder overigens vergelijkbare condities). Daarom is besloten om daar waar relevant in deze rapportage de eerder gevonden correctie van 2,4% per uur weidegang over te nemen om meetresultaten te kunnen vergelijken bij 0 uur weidegang.

In eerder onderzoek in een onderzoekstal in Lelystad is door van Duinkerken et al (2003 & 2005) de volgende invloed van de buitentemperatuur (Teffect) op de ammoniakemissie uit een stal gevonden:

$$T_{\text{effect}} = e^{(0,0276 \times (T_{\text{buiten}} - 15))}$$

Dit komt ongeveer neer op een 2,7% hogere emissie per graad Celsius boven 15 °C.

Deze correctie is in dit rapport overgenomen om gemeten emissies bij hogere en lagere temperaturen op uniforme wijze te corrigeren naar een buitentemperatuur van 15 °C.

2.4 Stalklimaat en meteorologie

De stal- en buitentemperatuur zijn gemeten met Rotronic sensoren. De buitentemperatuur werd soms beïnvloed door uitstromende stallucht of door globale straling van de zon doordat de sensor (achteraf gezien) niet de gehele dag volledig in de schaduw bleek te hangen of te dicht op de stal was gepositioneerd. Daarom zijn aanvullend ook buitentemperaturen die op een nabijgelegen weerstation door het KNMI gemeten zijn, in deze rapportage opgenomen.

Naast buitentemperatuur zijn ook windsnelheidsgegevens van een nabijgelegen regionaal weerstation van het KNMI ontleend aan databestanden van het KNMI. De windsnelheid is daar gemeten op 10 meter hoogte. Het KNMI corrigeert de windsnelheid standaard naar een ruwheidlengte van 0,03 m (dit is de ruwheid van open terrein). Deze windsnelheden zijn met een correctiefactor vertaald in lokale windsnelheden op een stalhoogte van 2 meter. Daarbij is per locatie per seizoen (zomer versus winter) een bepaalde ruwheid van het terrein aangenomen, rekeninghoudend met de mate van bebouwing, bomenrijen, gewassen e.d. in de buurt van het erf (zie bijlage 5).

2.5 Indicatieve bemonstering urine

Per meetessie is één of twee maal 1 à anderhalf uur een deelstroom van de urine van de dan vrijwillig urineloze koeien (n= ca 8) opgevangen. Hierbij is per koe circa 40 ml in een monsterpotje gedaan en in een koelbox (circa 5°C) bewaard. De urinemonsters zijn bij aankomst in Wageningen in de diepvries geplaatst. Een etmaal voor analyse werden de urinemonsters ontdooid; daarna heeft men per bemonsteringsperiode een mengmonster met gelijke hoeveelheden urine per koe gemaakt. Hierin werden de concentraties van totaal-stikstof, ureumstikstof en ammoniumstikstof bepaald. De urinebemonstering was als "aanvullende waarneming" slechts indicatief bedoeld; de steekproef bleek qua tijdsduur en aantal dieren te beperkt van omvang om een representatief beeld van de gemiddelde gehalten in een etmaal te kunnen veronderstellen. Door de gegevens van een groot aantal meetessies te relateren aan het tankmelkureumgehalte en de gemeten emissie, kunnen we op basis van deze indicatieve bemonstering toch een trend of aanwijzingen voor eventuele afwijkingen van een trend beschrijven.

2.6 Voerregistratie, melkproductieregistratie en stikstofexcretie

Op de K&K-bedrijven hebben de veehouders iedere 4 weken gedurende een week de verstrekte hoeveelheid voer gewogen (per rantsoencomponent) en bemonsterd. In de voermonsters werd op een gespecialiseerd laboratorium de voederwaarde en chemische samenstelling bepaald, merendeels met behulp van Near InfraRed Spectroscopie (NIRS).

Gelijktijdig met de voerregistratie werd een melkproductieregistratie (MPR, voorheen melkcontrole geheten) uitgevoerd. De gegevens van de voerregistratie die samenvielen met of het dichtst lagen bij de ammoniakmeetperiode zijn gebruikt om de N-opname vast te stellen. De stikstofexcretie is berekend door de N-uitscheiding in de melk (MPR) af te trekken van de opname (voerregistratie).

3 Resultaten

3.1 Meetresultaten per meetsessie

In tabel 3 zijn per meetsessie de gemiddelden van stalklimaatkarakteristieken en meteorologische omstandigheden weergegeven. In tabel 4 staan per meetsessie de waarden per koe van de ammoniakemissie, de drogestofopname, het ruweiwitgehalte van het rantsoen, de stikstofopname, de stikstofexcretie en de ammoniakstikstofemissie uitgedrukt als percentage van respectievelijk opname, excretie en uitscheiding in melk van stikstof. Gemiddeld werd op K&K-bedrijven met een roostervloer een ammoniakemissie uit de stal gemeten van 32 g per koe per dag, en op proefbedrijf De Marke bij scherp mineralenmanagement en een sleufvloer 23 gram per koe per dag. Dit is respectievelijk 7,4% en 5,3% van de N-uitscheiding in urine en faeces (N-urine en faeces berekend als N-opname minus N-melk). Deze gemiddelden hebben betrekking op de korte meetperioden. Uiteraard zijn de omstandigheden in die perioden niet geheel representatief voor jaarrondsituaties. Om de emissie op jaarbasis te bepalen moet nog gecorrigeerd worden voor de specifieke omstandigheden (klimaat, meteorologie, weidegang, enz.).

Uit tabel 4 blijkt dat de hoogste emissies (g/dag) gemeten zijn bij Pijnenborg (zowel in ronde 1 als 2), bij Post (ronde 2) en bij Hoefmans (ronde 1)¹. Ook uitgedrukt als percentage van de N-excretie zijn de emissies op deze bedrijven het hoogst. Daarnaast is dit percentage opvallend hoog bij Van Hoven in ronde 1, hoewel de emissie uitgedrukt in gram per dag op dit bedrijf tegelijkertijd vrij laag is. De hoge emissie als percentage van de excretie is in dit geval terug te voeren op een erg lage excretie (260 g N/dag) op dit bedrijf. Dit komt door een lage gemeten stikstofopname en een hoge N-uitscheiding in de melk in de betreffende voerregistratieweek. Mogelijk is de stikstofopname in deze week niet goed gemeten (de gemeten drogestofopname was laag bij een hoge melkproductie en het vastgestelde RE gehalte van het voer was ook vrij laag); in geen enkel andere voerregistratieweek is bij Van Hoven een dergelijk lage N-opname vastgesteld. Op de meeste K&K-bedrijven is de gemeten emissie uitgedrukt als percentage van de stikstofexcretie tussen de 6 en 7%.

¹ In paragraaf 4.2 wordt ingegaan op mogelijke systematische oorzaken van verschillen in emissies

Tabel 3 Periodegemiddelden van stalklimaat en meteorologische omstandigheden tijdens de metingen: staltemperatuur (Tstal), temperatuurverschil tussen stal- en buitentemperatuur (Tio), windsnelheid (v lokaal), mengfactor (Km). De mengfactor kan men bij benadering beschouwen als het ventilatiedebiet. In de laatste kolom staat de temperatuur van een regionaal KNMI weerstation

Ronde	Naam	Tstal °C	Tio °C	v lokaal m/s	Km per koe, m ³ /h	T_gem regioKNMI
1	De Marke	18,8	0,2	2,4	2308	15,6
2	De Marke	10,3	2,7	2,2	2212	6,8
3	De Marke	18,3	0,3	1,7	2712	15,4
4	De Marke	14,5	0,5	2,7	2856	12,6
1	Bomers	10,3	2,8	3,4	1076	7,3
2	Bomers	17,7	3,3	1,7	673	11,2
3	Bomers	12,7	2,0	2,0	1048	8,5
1	Boekel	11,3	1,6	7,0	1701	9,0
2	Boekel	23,5	0,0	3,1	936	20,4
1	Van Hoven	11,4	3,7	1,9	776	6,5
2	Van Hoven	22,3	1,1	1,1	746	19,5
1	Miedema	11,8	1,8	3,2	1197	8,0
2	Miedema	7,3	3,4	2,6	961	3,6
1	Pijnenborg	15,3	1,5	2,9	2409	11,4
2	Pijnenborg	18,8	2,2	1,1	1509	14,5
1	Post	12,0	3,4	4,1	1106	7,2
2	Post	15,7	4,7	2,1	1201	11,1
1	De Vries	16,1	0,8	1,9	1654	14,5
2	De Vries	17,7	0,7	1,8	1083	15,8
1	Hoefmans	12,1	1,2	2,4	2004	7,6
1	De Kleijne	21,9	0,9	1,8	1001	18,9
1	Kuks	22,0	0,8	1,1	931	17,8
1	Van Wijk	17,7	2,2	2,0	980	14,2

Tabel 4 Periodegemiddelden per koe van ammoniakemissie (g NH₃/dag), stikstof-opname, stikstofexcretie en ammoniakstikstofemissie uitgedrukt als percentage van respectievelijk opname, excretie en uitscheiding in melk van stikstof. Tussen haakjes zijn rangnummers van de hoogste waarden vermeld voor de ammoniakemissie (g NH₃/dag) en de emissie als percentage van de N-excretie

Ronde	Naam	Ammoniakemissie g NH ₃ /dag	N-opname g N/dag	N-excretie g N/dag	Ammoniakemissie als percentage van			
					N-opname	N-excretie	stal N-excretie	N-melk
1	De Marke	18	595	439	2.5	3.4	4.3	9.5
2	De Marke	27	485	337	4.6	6.7	6.7	15.2
3	De Marke	27	532	402	4.1	5.5	6.6	16.8
4	De Marke	22	485	322	3.7	5.6	6.8	11.1
1	Bomers	31	480	379	5.4	6.9	6.7	25.1
2	Bomers	25	459	334	4.4	6.1	6.6	16.3
3	Bomers	25	514	395	4.0	5.2	5.2	17.4
1	Boekel	34	568	425	4.9	6.6	6.6	19.5
2	Boekel	36 (5)	634	504	4.6	5.8	25.3	22.5
1	Van Hoven	27	451	260	4.9	8.5 (4)	8.5	11.5
2	Van Hoven	26	516	375	4.2	5.8	8.6	15.4
1	Miedema	25	nb	nb	nb	nb	nb	nb
2	Miedema	30	499	383	5.0	6.5	9.0	21.5
1	Pijnenborg	41 (3)	545	407	6.2	8.4 (5)	10.4	24.5
2	Pijnenborg	55 (1)	462	325	9.8	14.0 (1)	14.0	33.2
1	Post	25	576	409	3.6	5.0	5.0	12.3
2	Post	50 (2)	546	377	7.6	11.0 (2)	11.0	24.5
1	De Vries	29	492	348	4.8	6.8	11.7	16.5
2	De Vries	23	454	316	4.2	6.1	16.6	13.8
1	Hoefmans	40 (4)	486	341	6.8	9.7 (3)	9.7	22.7
1	De Kleijne	35 (6)	513	386	5.7	7.5 (6)	11.7	22.9
1	Kuks	28	516	378	4.4	6.1	8.4	16.6
1	Van Wijk	28	498	346	4.6	6.7	6.8	15.2

N-excretie is berekend als voeropname van stikstof minus uitscheiding in melk van stikstof (zonder correctie voor stikstofvastlegging in dier)

Zie voor het tankmelkureumgehalte tabel 2 (paragraaf 2.1)

3.2 Mogelijke oorzaken van verschillen in emissie

Het aantal meetsessies was beperkt en er was veel verstrengeling tussen mogelijke invloedvariabelen, mede doordat er geen sprake was van een gebalanceerde proefopzet. Hierdoor zijn de invloeden van afzonderlijke factoren niet eenduidig aan te geven. Een complicerende factor is dat op sommige bedrijven de stalsituatie tussen rondes substantieel veranderd is, zodat geen sprake meer was van een herhaalde waarneming aan dezelfde eenheid. Niet alleen de omstandigheden (seizoen, wind e.d.) zijn dan anders, maar bijvoorbeeld ook de grootte van de stal, de grootte van ventilatieopeningen, de mate waarin jongvee in de stal is gehuisvest (zie bijlage 3). In figuren is de gemeten ammoniakemissie uitgezet als functie van mogelijke afzonderlijke invloedfactoren. Het relatieve belang van deze factoren wordt deels bepaald door de variatie die daarin tijdens de metingen gevonden werd. Zo was de variatie in tankmelkureumgehalte vrij beperkt doordat op de voorloperbedrijven al langer aan verbetering van het mineralenmanagement is gewerkt. Doordat slechts in korte perioden per bedrijf werd gemeten, spelen toevallige omstandigheden tijdens de meetdagen een belangrijke rol naast systematische invloeden. Zo kan een opvallend hoge emissie dus bijvoorbeeld veroorzaakt zijn door een hoge windsnelheid, door een hoge temperatuur of door een hoog ureumgehalte tijdens de metingen.

3.2.1 Ventilatie en ammoniakemissie

De ammoniakemissies blijken voor een aanzienlijk deel ($R^2=65\%$, waarbij Mie2 en Pos2 buiten beschouwing zijn gelaten) verklaard te kunnen worden door het ventilatieniveau (zie figuur 1): naarmate er meer geventileerd wordt, is de emissie hoger.

Algemeen geldt: een hogere windsnelheid geeft meer ventilatie met hogere luchtsnelheden over emitterende oppervlakken en meer kelderventilatie; daardoor hogere emissies.

Het effect van de windsnelheid op de ventilatie hangt sterk af van de grootte van ventilatieopeningen in de stal en daarnaast van de situering van de stal. Gebouwen en begroeiing in de omgeving van de stal kunnen de ventilatie remmen.

Uit figuur 1 kunnen we opmaken dat men op De Marke, ondanks hoge ventilatieniveaus, lage stalemissies bereikt. Op De Marke werd scherp mineralenmanagement (lage ureumgehalten) toegepast. Ook is de stal hier voorzien van een sleufvloer die de ammoniakemissie uit de kelder aanzienlijk vermindert, doordat de luchtuitwisseling tussen kelder en stal wordt geminimaliseerd.

Ter indicatie: in een stal met een roostervloer draagt de emissie uit de kelder ongeveer de helft bij aan de stalemissie. Een nagenoeg afgesloten kelder kan vooral bij hoge ventilatieniveaus de ammoniakemissie verlagen (Braam *et al.*, 1997; Monteny, 2000).

3.2.2 Ureumgehalte en ammoniakemissie

Tankmelkureumgehalte en emissie

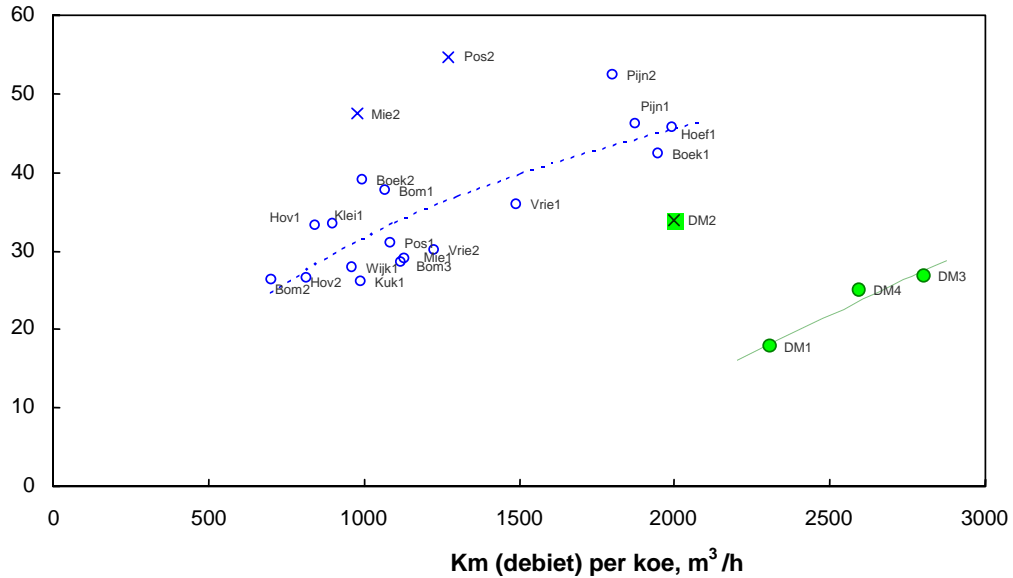
In eerder experimenteel onderzoek in een onderzoekstal in Lelystad is een relatie tussen het tankmelkureumgehalte en de ammoniakemissie aangetoond (Duinkerken *et al.*, 2003 & 2005). In deze paragraaf belichten we hoe de gemeten emissies en tankmelkureumgehalten op K&K-bedrijven zich verhouden tot die eerder gevonden relatie.

In figuur 2 is de gemiddelde emissie per meetsessie weergegeven in relatie tot het bijbehorende gemiddelde tankmelkureumgehalte. De gemeten emissies zijn hier gecorrigeerd naar een buitentemperatuur van 15 °C en voorzover er weidegang werd toegepast, is de emissie tevens gecorrigeerd naar 24 uur verblijf in de stal (wijze waarop gecorrigeerd is: zie paragraaf 2.2).

In figuur 2 is tevens met een doorgetrokken lijn de relatie tussen het melkureumgehalte en de ammoniakemissie bij een temperatuur van 15 °C weergegeven zoals die eerder in een onderzoekstal in Lelystad is vastgesteld. Met stippellijntjes zijn de predictie-intervallen (bandbreedtes ten opzichte van de voorspelling voor één afzonderlijke waarde) weergegeven die in dat eerdere onderzoek (Duinkerken *et al.*, 2003) zijn gevonden. Die bandbreedtes waren groot. Doordat nu in verschillende stallen is gemeten, mogen we nog meer variatie verwachten. Predictie-intervallen geven de range aan die voor een afzonderlijk te voorspellen emissiewaarde op basis van één ureumgehalte (lees één waarnemingspunt) van toepassing is.

Figuur 1 Ammoniakemissie in relatie tot ventilatiedebiet. Emissie is gecorrigeerd voor temperatuur (T= 15 °C) en weidegang (24 uur verblijf in de stal).

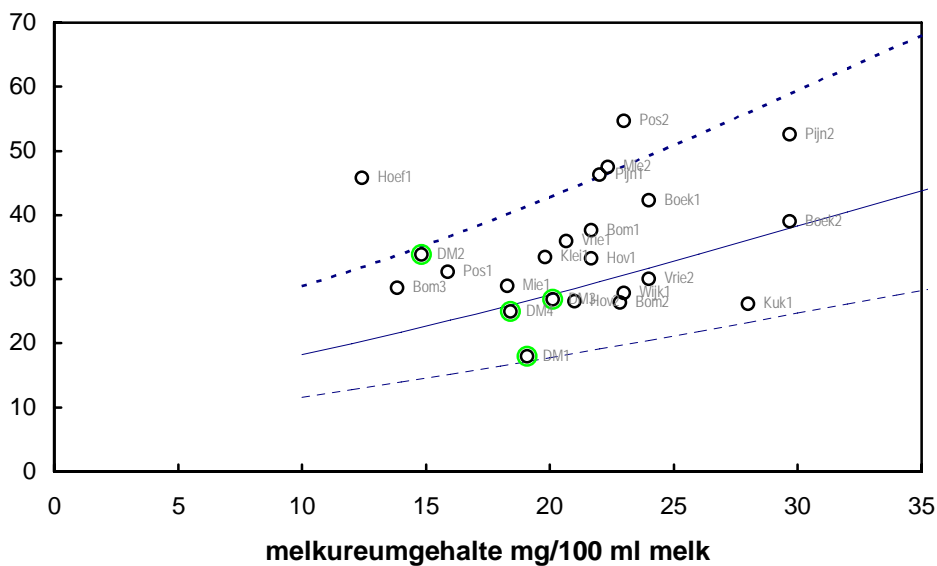
Ammoniakemissie per koe, g/dag



Figuur 1: Kruisjes geven waarnemingen weer die voor de regressielijnen buiten beschouwing zijn gelaten. Bij de gestippelde regressielijn van K&K betreft dit de afwijkende waarden ‘Pos2’ en ‘Mie2’. Van de overige emissiewaarnemingen op K&K-bedrijven kan 65% van de variatie in emissie door het debiet verklaard worden. Bij de regressielijn van De Marke is de afwijkende waarde ‘DM2’ buiten beschouwing gelaten.

Figuur 2 Ammoniakemissies in relatie tot het tankmelkureumgehalte (gemiddelden per meetessie). De gemeten emissies zijn gecorrigeerd naar een temperatuur van 15 °C en naar 24 uur verblijf in de stal (correctie weide-uren). Bij Post was er in de 2e ronde slechts één dag waarop zowel het tankmelkureumgehalte als de ammoniakemissie gemeten zijn; alle andere waarden zijn gemiddelden van tenminste drie meetdagen.

ammoniakemissie per koe, g/dag



Figuur 2: met een doorgetrokken lijn is de relatie tussen het melkureumgehalte en de ammoniakemissie bij een temperatuur van 15 °C weergegeven zoals die eerder in een onderzoekstal in Lelystad is vastgesteld. Met stippellijntjes zijn de predictie-intervallen weergegeven die in dat eerdere onderzoek (Duinkerken *et al.*, 2003 & 2005) zijn gevonden. De opvallend hoge emissie bij een laag melkureumgehalte bij Hoefmans in figuur 2 lijkt in belangrijke mate verklaard te kunnen worden door het hoge ventilatieniveau (figuur 1).

Ureumstikstofgehalte melk versus urine

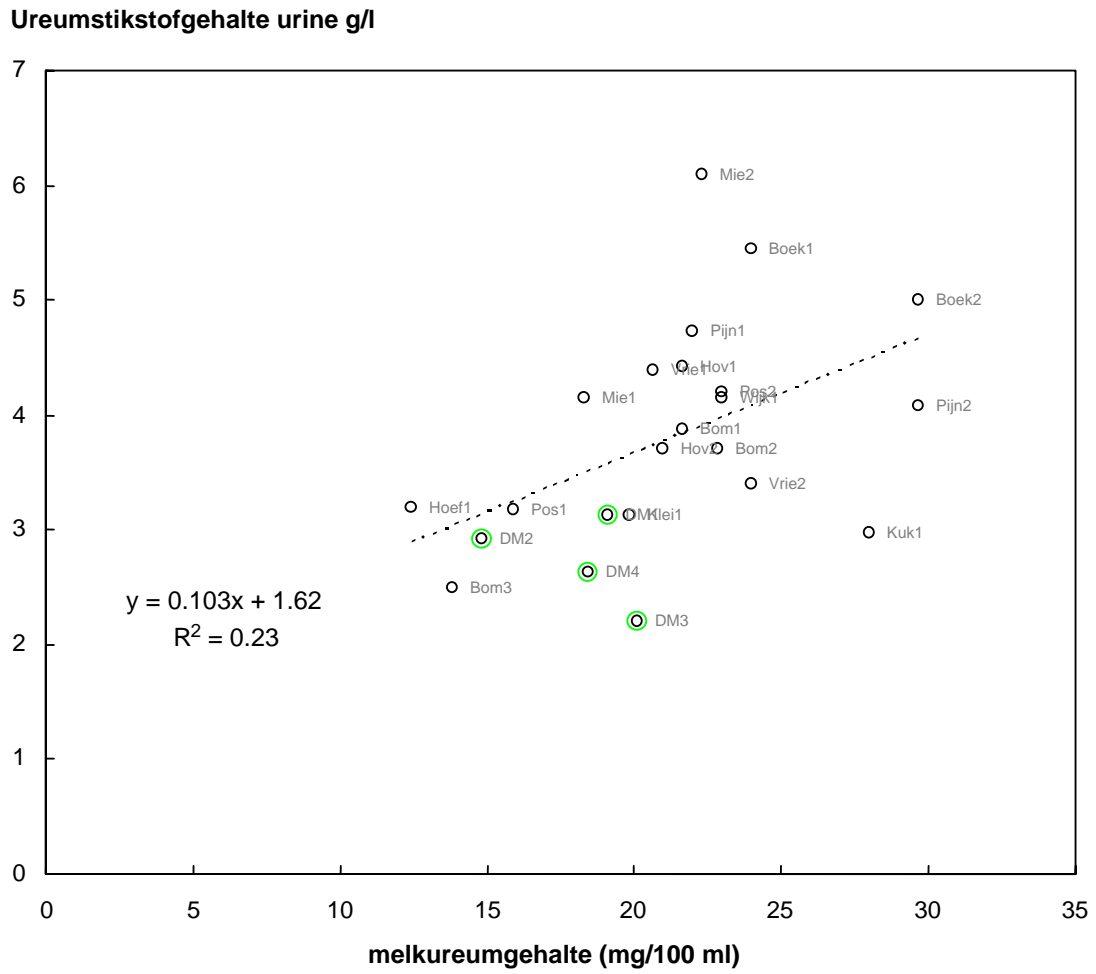
Uit eerder onderzoek (Monteny, 2000; Smits *et al.*, 1997; Smits *et al.*, 2002) bleek dat verlaging van de ureumconcentratie in de urine door de uitscheiding van ureum in de urine te minimaliseren de meest directe manier is om de ammoniakemissie uit een melkveestal te beperken. De ureumconcentratie in de urine van het melkvee in een stal is dus een interessant gegeven. Het bemonsteren van urine in melkveestallen in de praktijk (onder de staarten van de koeien) is echter een tijdrovende klus. Het melkureumgehalte mogen we zien als een indicator voor de ureumuitscheiding in de urine. Het melkureumgehalte wordt routinematig op vrijwel alle melkveebedrijven bepaald in de tankmelk (vaak eens per 3 dagen). Tegen deze achtergrond is het interessant om de relatie tussen het tankmelkureum-gehalte en het op beperkte schaal bepaalde ureumgehalte in de urine te bestuderen. Opvallend hoge of lage emissiewaarden kunnen deels samen hangen met relatief hoge of lage gehalten in urine ten opzichte van melkureumgehalten in de melk.

In figuur 3 is per meetperiode het ureumstikstofgehalte in een verzamelmonster urine weergegeven in relatie tot het tankmelkureumgehalte. Tussen het ureumgehalte in de tankmelk en dat in een urinemonsters (indicatief verzameld op een willekeurig tijdstip (overdag) tijdens een meetsessie) werd slechts een zwak verband gevonden ($R^2=23\%$). Het ureumstikstofgehalte in het urineverzamelmonster (genomen bij melkkoeien van Miedema in ronde 2), is opvallend hoog; dit kan de hoge ammoniakemissie verklaren. Ook bij Boekel is dit gehalte in de urine in ronde 1 relatief hoog. Bij Kuks in ronde 1 en De Marke in ronde 3 zijn de ureumstikstofgehalten in de urine laag vergeleken bij de melkureumgehalten in de tankmelk.

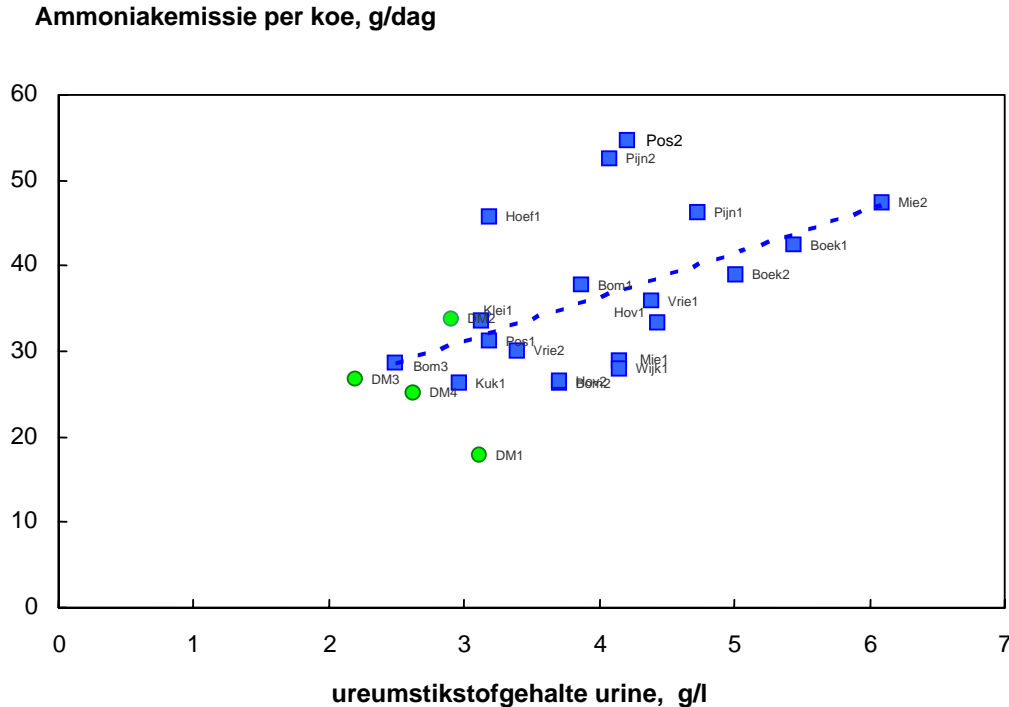
Ureumgehalte urine en ammoniakemissie

De ammoniakemissie kan in beperkte mate (25%) verklaard worden door het ureumstikstofgehalte in de urine (figuur 4). In de regressielijn zijn alle waarnemingen op K&K- bedrijven (ligboxenstallen met roostervloeren) betrokken; die van De Marke (ligboxenstal met sleufvloer) zijn buiten beschouwing gelaten.

Figuur 3 Per meetperiode het ureumstikstofgehalte in urine van melkkoeien (verzamelmonster) in relatie tot het tankmelkureumgehalte



Figuur 4 Ammoniakemissies (gemiddelden per meet sessie) in relatie tot het ureumstikstofgehalte in de urine ('momentopname' per meet sessie op basis van een verzamelmonster). De gemeten emissies zijn gecorrigeerd naar een temperatuur van 15 °C en naar 24 uur verblijf in de stal (correctie weide-uren)

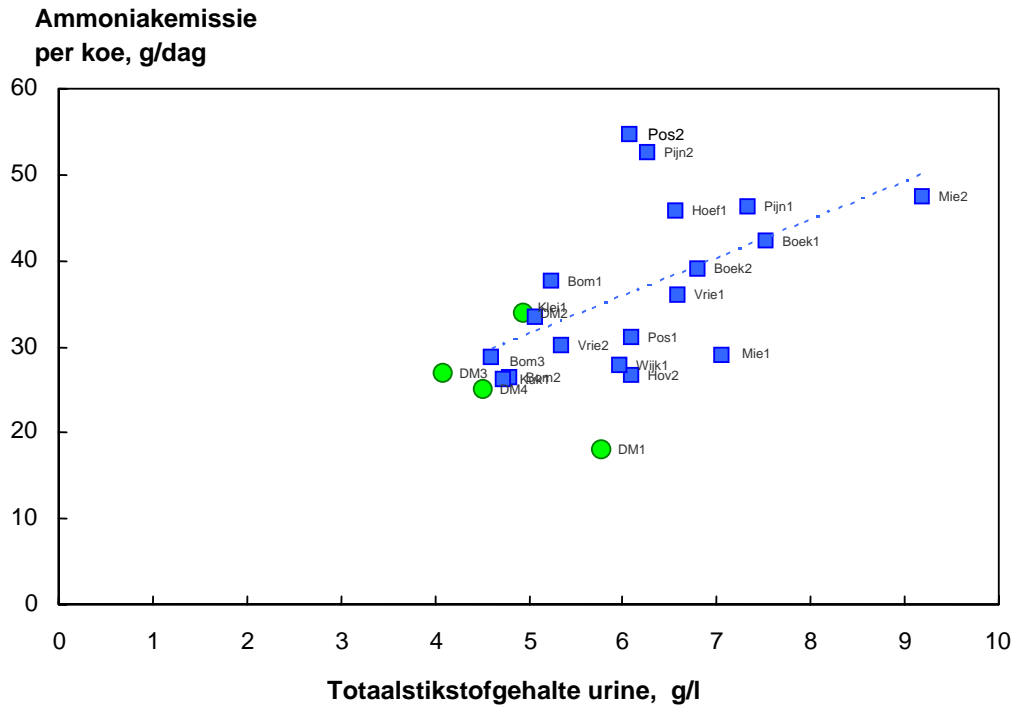


Stikstofgehalte urine en ammoniakemissie

Van de totale stikstofuitscheiding in de urine wordt een groot deel uitgescheiden als ureum. Dit deel is echter variabel. Ook uit de overige uitgescheiden stikstof kan ammoniak gevormd worden (Van Vuuren en Smits, 1997). Daarom is het interessant om ook de relatie tussen het 'totaalstikstof'-gehalte en de ammoniakemissie te bestuderen. De variatie in ammoniakemissie op K&K-bedrijven kunnen we voor 30% verklaren door het totaal stikstofgehalte in de urine (figuur 5). In de gestippelde regressielijn zijn alle waarnemingen op K&K-bedrijven (ligboxenstallen met roostervloeren) betrokken; die van De Marke (ligboxenstal met sleufvloer) zijn buiten beschouwing gelaten.

De opvallend hoge emissie bij Miedema lijkt in belangrijke mate door het hoge (ureum)stikstofgehalte in de urine te worden veroorzaakt. Bij Hoefmans is het gemeten ureumstikstofgehalte in de urine in ronde 1 laag, terwijl het gemeten totaal stikstofgehalte in de urine vrij hoog is. Normaliter is bij een dergelijk totaal stikstofgehalte meer dan 60% van de totale stikstof in urine aanwezig als ureumstikstof. In dit geval was dit slechts 49%. Mogelijk is een van beide gehalten niet correct bepaald.

Figuur 5 Per meetperiode het totaal stikstofgehalte in urine (verzamelmonster) in relatie tot de gemeten ammoniakemissie. De gemeten emissies zijn wederom gecorrigeerd naar een temperatuur van 15 °C en naar 24 uur verblijf in de stal (correctie weide-uren)



4 Discussie

Invloed ventilatie

In dit onderzoek werd een grote spreiding in gerealiseerde ventilatieniveaus gevonden: per koe variërend van 700 m³/h tot 2800 m³/h (zie tabel 3). De variatie in emissie kon voor een fors deel verklaard worden door het ventilatieniveau. Deels zijn hoge debieten het gevolg van meteorologische omstandigheden (vooral hogere windsnelheden) en de ruwheid van het terrein waarin de stal staat (heuvels, gebouwen en begroeiing remmen de wind af); daarnaast speelt de grootte van de ventilatieopeningen een belangrijke rol.

In de laatste decennia brengt men steeds vaker vergrootte luchtinlaatopeningen in de zijwanden van melkveestallen aan. Met gordijnen of windbreekgaas kan men deze openingen veelal handmatig verkleinen. De ventilatiebehoefte is door hogere productieniveaus de laatste decennia toegenomen. Bij hoge buitentemperaturen en bijna windstil weer (lage windsnelheden) is bovendien elk vlaagje wind welkom in de stal.

Bij stallen met grote zijwandopeningen kan wellicht automatische regeling van de openingen op basis van temperatuur (evt. vochtigheid) en windsnelheid aan reductie van de emissie bijdragen. Door een 'slimme' automatische regeling kan snel (continu) geanticipeerd worden; enerzijds op omstandigheden waarbij de ventilatie beperkt kan worden tot de werkelijke ventilatiebehoefte, waarmee men dan ook de ammoniakemissie beperkt; anderzijds op omstandigheden waarbij hittestress bij het vee e.d. zoveel mogelijk tegengegaan moet worden. Ook het isoleren van staldaken kan men in dit verband overwegen om de invloed van de zon op het stalklimaat (sterke opwarming) te beperken en de ventilatiebehoefte en ammoniakemissie daarmee te verminderen.

Melkureumgehalte en jaargemiddelde emissie

Door het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP, 2005) is in de Milieubalans van 2005 gesignaleerd dat het landelijk gemiddelde van het melkureumgehalte sinds 1999 geleidelijk gedaald is van 29 mg per 100 g melk naar 25 mg per 100 g melk (zie bijlage 6).

De K&K-bedrijven hebben al een aantal jaren een lager jaargemiddelde tankmelkureumgehalte dan het landelijk gemiddelde. Doordat hier slechts in korte perioden ammoniakemissie uit de stal is gemeten, kan het tankmelkureumgehalte hoger of lager geweest zijn dan het jaargemiddelde van het betreffende bedrijf. Ook de weersomstandigheden zullen in die korte periode afwijken van de gemiddelde condities in een jaar. Vaak is er binnen een meetperiode slechts een beperkte variatie in weersomstandigheden. Het doorvertalen van de meetresultaten naar een jaargemiddelde is niet direct mogelijk omdat de toe te passen correcties niet eenduidig uit de dataset afgeleid kunnen worden. Een meetcampagne in de brede melkveehouderijpraktijk is nodig om bij een bredere range van o.a. melkureumgehalten onder verschillende omstandigheden (o.a. variaties in windkracht) en bij verschillende groottes van ventilatieopeningen e.d. de invloeden goed te kwantificeren.

Emissie en N excretie

Op de meeste K&K-bedrijven is de gemeten stalemissie van ammoniakstikstof als percentage van de stikstofexcretie tussen de 6 en 7% (tabel 4). Ook hier geldt weer dat de excretie in de beperkte meetperiode hoger of lager is geweest dan het jaargemiddelde van het betreffende bedrijf. Als we de stalemissie van ammoniakstikstof uitdrukken als percentage van de stikstofexcretie die in de stal wordt uitgescheiden (uitgaande van een verdeling over stal en weide proportioneel met de verblijftijden), worden in de zomer hoge percentages gevonden op bedrijven die onbeperkte weidegang toepassen en veelal relatief lage percentages op bedrijven die de koeien niet weiden, of slechts een beperkt aantal uren per dag. Ten opzichte van de Milieubalansberekeningen waar aangenomen wordt dat de emissie uit 'stal en opslag' in de winter en de zomerperiode respectievelijk 7,1% en 17,4% van de N-excretie in de stal bedraagt (uitgaande van een landelijk gemiddelde beweidingduur), zijn de gemeten percentages op de meeste K&K-bedrijven (exclusief de emissie uit een eventuele externe opslag) iets lager. Op enkele bedrijven met hoge ventilatieniveaus in de meetperiode en/of een hoog ureumgehalte in de melk of de urine waren de percentages wel substantieel hoger.

De laatste decennia zijn op veel melkveebedrijven in Nederland de ventilatieopeningen vergroot. Hierdoor kunnen de emissiefactoren waarmee in ramingen zoals Milieubalans wordt gewerkt, zijn onderschat. Bij hogere ureumgehalten is het emissiepotentieel door grotere ventilatieopeningen overigens nog groter. Daling van het ureumgehalte is bij grotere ventilatieopeningen dus nog belangrijker.

Veel bedrijven slaan alle mest onder de stal op. Mest die men buiten de stal opslaat, wordt bijna altijd afgedekt zodat de emissie hiervan gering is (indicatie 1% van de N in opgeslagen mest) in vergelijking tot die uit de stal.

Ook voor de stalemissie (en eventuele opslagmissie) als percentage van de stikstofexcretie geldt dat alleen door een meetcampagne in de bredere praktijk een goede onderbouwing van het gemiddelde percentage vervluchtiging van de N excretie uit de stal (en eventueel uit de externe mestopslag) verkregen kan worden.

Ureumgehalte in urine versus melk

Valk (2002) vond eerder in een voedingsproef bij uitsluitend toepassing van grasrantsoenen een relatie tussen het tankmelkureumgehalte en het ureumstikstofgehalte in de urine met ongeveer dezelfde hellingshoek als in dit onderzoek (figuur 3), maar met een kleiner intercept. De variatie rondom de regressielijn in figuur 3 is groot.

De mate waarin ureum in de urine geconcentreerd wordt, hangt mede af van de overmaat aan natrium en kalium die met de urine moet worden afgevoerd. De nieren zijn slechts in beperkte mate in staat om ureum, kalium en natrium in de urine te concentreren (Van Vuuren en Smits, 1997; Bannink et al., 1999). Als er relatief weinig kalium en natrium in het rantsoen zit, wordt ureum in de urine meer geconcentreerd. Als er relatief veel kalium of natrium in het rantsoen zit, wordt ureum in de urine minder geconcentreerd. Het melkureumgehalte in de melk is een afspiegeling van het ureumgehalte in het bloed. Bij de afvoer van ureum via de urine kunnen door variaties in de af te voeren hoeveelheden kalium en natrium dus variaties ontstaan.

We merken op dat in ons onderzoek het verzamelmonster van urine van melkkoeien slechts als aanvullende, indicatieve waarneming (momentopname) is genomen. De gehalten hierin zullen niet geheel representatief zijn voor het gemiddelde in de gehele meetperiode.

Ammoniakemissieniveaus in vergelijking met eerder onderzoek

Bijlage 1 is een overzichtstabel van meetresultaten die elders (o.a. Groot Koerkamp et al., 1998; Snell et al., 2003; Zhang et al., 2005) verkregen zijn; dit ter vergelijking met de emissieniveaus die in dit rapport beschreven zijn.

Op de K&K-bedrijven werden bij lage melkureumniveaus en ventilatieniveaus tot circa 1500 m³ per koe per uur vaak lagere emissieniveaus gemeten dan elders in traditionele ligboxenstallen met roostervloeren. Bij hogere ventilatieniveaus werden vergelijkbare en hogere emissieniveaus gevonden dan in de literatuur. We moeten benadrukken dat vergelijking tussen onderzoeken slechts beperkt mogelijk is door de veelal beperkte meetduur en de per locatie verschillende omstandigheden (o.a. meteorologische verschillen tussen landen).

Emissiebeleid

In de NEC richtlijn ('National Emission Ceiling'; Europese richtlijn 2001/81/EC) is voor Nederland het plafond voor ammoniakemissies in 2010 gesteld op 128 miljoen kg. Deels gaat het daarbij om niet agrarische bronnen, maar het grootste deel betreft ammoniakemissies van agrarische bronnen. De geraamde ammoniakemissies uit land- en tuinbouw in 2010 bedragen volgens het Milieu- en Natuurplanburo (MNP) 111 miljoen kg en komen daarmee 15 miljoen kg uit boven de sectorale taakstelling van 96 miljoen kg ammoniak in 2010.

Melkveebedrijven hoeven in Nederland – behalve bij maatwerk in reconstructiegebieden en in een zone rond 'Vogel Habitat Richtlijn' gebieden - nog geen emissiearme stallen te bouwen. Alleen melkveehouders die nieuwe stallen bouwen of bestaande stallen met meer dan 20 dierplaatsen uitbreiden én van plan zijn hun koeien permanent op te stallen, zijn dit wel verplicht.

Om de emissie te reduceren, is met de sector afgesproken dat de melkveehouderij de ammoniakemissie beperkt via het voerspoor (onder andere minder eiwitrijk voer). Daaraan is een doel gekoppeld: gemiddeld per jaar 20 mg ureum per 100 g melk, te bereiken in 2010. Sinds 1999 is het gehalte in MPR-monsters gedaald van 29 naar 25 mg per 100 g melk in 2005. Op K&K-bedrijven is het melkureumgehalte al verder gedaald en nu al enkele jaren gemiddeld ongeveer 21 mg per 100 g melk.

Het nieuwe mestbeleid is op korte termijn voor de meeste melkveebedrijven dwingender dan het ammoniakbeleid. Door het nieuwe mestbeleid (met ingang van 2006) wordt verlaging van de N-excretie per koe en verlaging van het tankmelkureumgehalte sterk gestimuleerd; doordat de veebezetting (en daarmee de bedrijfsomvang) per individueel bedrijf begrensd is tot 250 kg N uit dierlijke mest per hectare. Dit zal een reducerend effect op de ammoniakemissie hebben. Daarmee wordt het ook aannemelijk dat de doelstelling van gemiddeld 20 mg melkureum per 100 g melk in 2010 op veel bedrijven wel benaderd wordt. Het niveau van gemiddeld 20 mg daadwerkelijk bereiken, blijkt echter op veel bedrijven lastig. In de zomer is het melkureumgehalte soms moeilijk te beheersen. Dit vooral bij variabele eiwitgehalten in vers gras en variabele grasopnames door wisselende weersomstandigheden e.d. Een heel laag melkureumgehalte in het stalseizoen ter compensatie van hogere gehalten in de zomer is geen optie, omdat dit voedingsfysiologisch niet verantwoord is. Het minimum dat uit dit oogpunt verantwoord is, ligt ergens tussen

de 15 en 20 mg melkureum per 100 g melk. Op veel K&K-bedrijven blijft het jaargemiddelde tankmelkureumgehalte dan ook al enkele jaren iets boven de 20 steken.

Tussen 2010 en 2020 kunnen de emissies volgens MNP-ramingen stijgen tot 147 miljoen kg als de melkveehouderij fors gaat groeien door liberalisering van de handel (afschaffing melkquota). Het Europese voorstel voor een ammoniakplafond in Nederland van 105 miljoen kg in 2020 wordt dan met 42 miljoen kg overschreden. Er zijn nog geen harde besluiten genomen over welke extra emissiereducerende maatregelen in de toekomst aan de melkveehouderij gesteld zullen worden. Een serieuze optie is om ook in de melkveehouderij emissiearme stallen generiek te gaan voorschrijven. Daartoe moet men ontwikkeling van nieuwe emissiearme technieken stimuleren. Naast de stal is mesttoediening een belangrijke bron van ammoniakemissie. Bij mesttoediening onderzoekt men of de impact van weersomstandigheden op de emissie groter is dan verondersteld in emissieramingen. Ook kan de uitvoering van emissiereducerende toedientechnieken in de praktijk minder nauwkeurig zijn dan verondersteld, waardoor meer mest 'boven de grond' terecht komt (Huijsmans, persoonlijke mededeling). Daaruit kan meer ammoniak emitteren. Aanscherping van de condities waaronder mest mag worden toegediend (machines, tijdstippen en weersomstandigheden) is voor het emissiebeleid dan ook een optie.

Verdere emissiereductie op K&K bedrijven

Op sommige K&K-bedrijven kan men nog een emissiearmere toedientechniek toepassen: meer rekening houden met het weer bij toediening.

Met name op K&K-bedrijven met grote zijwandopeningen kan men automatische regeling van gordijnen in die openingen overwegen.

5 Conclusies en aanbevelingen

Enige voorzichtigheid is geboden bij het trekken van algemene conclusies aangezien slechts een beperkt aantal metingen is uitgevoerd op een bijzondere groep melkveebedrijven die vooroplopen in mineralenmanagement. De resultaten zijn dus niet representatief voor de gehele melkveehouderij in Nederland.

Tussen en binnen K&K bedrijven bestonden grote variaties in ammoniakemissie. Een groot deel hiervan kon verklaard worden door verschillen in stalventilatie. Naarmate ventilatie-openingen in de stalwanden groter waren, konden bij hogere windsnelheden hogere ventilatiedebieten en hogere ammoniakemissies optreden.

Op de meeste K&K-bedrijven was het tankmelkureumgehalte laag. Doordat er geen grote verschillen in melkureumgehalte waren, kon de emissie slechts ten dele door het tankmelkureumgehalte verklaard worden.

Opvallend hoge en lage emissies konden daarnaast ten dele verklaard worden door relatief hoge of relatief lage ureum(stikstof)concentraties in de urine.

Bij grote ventilatie-openingen is automatische regeling van de ventilatie –door elektronisch gestuurde gordijnen in de zijwandopeningen- wellicht nuttig om de ventilatie en daarmee de emissie waar mogelijk te temperen.

Ook door afdichting van de mestkelder met een sleufvloer kan de emissie –speciaal bij hoge ventilatieniveaus- beperkt worden.

Een grootschalige meetcampagne in de brede melkveehouderijpraktijk is nodig om het gemiddelde emissieniveau, de variaties en de invloeden van belangrijke invloedsfactoren goed te kwantificeren.

Literatuur

Bannink, A., H. Valk en A.M. van Vuuren, 1999. Intake and excretion of sodium, potassium, and nitrogen and the effects on urine production by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci* 82: 1008-1018.

Boer, W.J. de, 1993. Box-Jenkins tijdreeksanalyse, toegepast op de resultaten van ammoniakemissiemetingen in een rundveestal. IMAG rapport 93-6, Wageningen, 32 pp.

Braam C.R., J.M.H. Ketelaars & M.C.J. Smits, 1997. Effects of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 45, 49-64.

Demmers, T.G.M., V.R. Philips, L.S. Short, L.R. Burgess, R.P. Hoxey & C.M. Wathes, 2001. Validation of ventilation rate measurement methods and the ammonia emission from naturally ventilated dairy and beef buildings in the United Kingdom. *J. Agric. Engng. Res.* 79: 107-116.

Duinkerken, G. van, G. André, M.C.J. Smits, G.J. Monteny, K. Blanken, M.J.M. Wagemans en L.B.J. Sebek, 2003. De relatie tussen voeding en ammoniakemissie vanuit de melkveestal. *PraktijkRapport Rundvee 25*. PV Lelystad.

Duinkerken, G. van, G. André, M. C. J. Smits, G. J. Monteny and L. B. J. Sebek, 2005. Effect of Rumen-Degradable Protein Balance and Forage Type on Bulk Milk Urea Concentration and Emission of Ammonia from Dairy Cow Houses. *J. Dairy Sci.* 88:1099-1112.

Galama, P.J., A.G. Evers, G.J. Gotink, M.H.A. de Haan, C.J. Hollander, G.C.P.M. van Laarhoven en E.A.A. Smolders, 2002. Vee in balans: Versneld naar Minas-eindnormen (deel 2). Rapport 12 Koeien & Kansen. PV Lelystad.

Groot Koerkamp, P.W.G., J.H.M. Metz, G.H. Uenk, V.R. Phillips, M.R. Holden, R.W. Sneath, J.L. Short, R.P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schröder, K.H. Linkert, S. Pederson, H. Takai, J.O. Johnsen en C.M. Wathes, 1998. Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. In: *Journal of Agricultural Engineering Research*. Volume 70 Number 1. Special Issue. Silsoe U.K.

Gustafsson, G., K.-H. Jeppsson, J. Hultgren, J.-O. Sannö, 2005. Techniques to Reduce the Ammonia Release from a Cowshed with Tied Dairy Cattle". *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript BC 04 010. Vol. VII. November, 2005.

Huis in 't Veld, J.W.H., M.C.J. Smits en G.J. Monteny, 2003. Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien&Kansen-bedrijven: Meetresultaten van één korte meetperiode per bedrijf. Rapport 17 Koeien & Kansen. PV Lelystad.

Huis in 't Veld, J.W.H. en R. Scholtens, 1998. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXXII: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkvee. Wageningen, IMAG, Rapport 1998-1006, 16 pp. excl. bijlage.

Huis in 't Veld, J.W.H., G.J. Monteny en R. Scholtens, 2001. Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVIII: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer tijdens zomerperiode. Wageningen, IMAG, Rapport 2001-03, 19 pp. excl. bijlage.

Koskamp, G.J., A. Kool, N. Middelkoop, J.F.M. Huijsmans, J.M.G. Hol, M.C.J. Smits, J.W.H. Huis in 't Veld, 2003. Ammoniakemissie op de Marke. CLM- Rapport 32, Utrecht.

Monteny, G.J., J. Huis in 't Veld, G. van Duinkerken, G. André en F. van der Schans, 2001. Naar een jaarrond emissie van ammoniak uit melkveestallen. Gezamenlijk rapport IMAG, PV en CLM. IMAG rapport 2001-09, Wageningen, Nederland, 27p.

Monteny, G.J. 2000. Modeling of ammonia emissions from dairy cow houses. PhD Thesis, Wageningen Univ., Report 2000-11, Institute of Agric. And Environmental Engineering, Wageningen.

MNP, 2005. Milieubalans 2005. MNP-rapport 251701066, Bilthoven, 156 pp.
<http://www.mnp.nl/bibliotheek/rapporten/251701066.pdf>

MNP, 2006. Milieubalans 2006. MNP-publicatienummer 500081001, Bilthoven, 200 pp.
<http://www.mnp.nl/bibliotheek/rapporten/500081001.pdf>

Ogink N.W.M.; Kroodsma, W., 1996. Reduction of Ammonia Emission from a Cow Cubicle House by Flushing with Water or a Formalin Solution. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Volume 63, Number 3, March 1996, pp. 197-204.

Scholtens, R., 1993. NH₃-converter + NO_x-analyser. In: E.N.J. van Ouwerkerk (Ed.): Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p. 19-22.

Smits, M.C.J., H. Valk, G.J. Monteny and A.M. van Vuuren. 1997 - Effect of protein nutrition on ammonia emission from cow houses. In: *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands*. SC Jarvis and BF Pain (eds). CAB International 1997. Oxon (UK), p.101-107.

Smits, M.C.J., G. van Duinkerken en G.J. Monteny, 2002. Mogelijkheden van ammoniakemissie beperkende voermaatregelen in de melkveehouderij. Wageningen IMAG, Nota P 2002-36.

Snell, H.G.J., F. Seipelt & H.F.A. Van den Weghe, 2003. Ventilation rates and gaseous emissions from naturally ventilated dairy houses. *Biosystems Engineering*, 2003.

Valk, H., 2002. Nitrogen and phosphorus supply of dairy cows. Proefschrift Universiteit Utrecht, 204 pp.

Van Vuuren A.M. & M.C.J. Smits, 1997. Effect of nitrogen and sodium chloride intake on production and composition of urine in dairy cows. In: *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands*. CAB international, Wallingford, 1997.

Zhang, G., J.S. Strøm, B. Li, H.B. Rom, S. Morsing, P. Dahl, C. Wang, 2005. Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle buildings. *Biosystems Engineering* vol. 92 (3): 355-364.

Bijlagen

Bijlage 1 Eerdere ammoniakemissiemetingen melkvee

In Smits *et al.* (2002) is een overzicht van het tot 2002 verrichte experimentele onderzoek naar ammoniakemissie bij melkvee beschreven. Daaruit blijkt dat men de ammoniakemissie uit de stal op verschillende manieren kan beperken. Naast stalmaatregelen (zoals een andere stalvloer) hebben ook de duur van de weidegang en voermaatregelen invloed op de ammoniakemissie vanuit de stal. Uit onderzoek van Duinkerken *et al.* (2003) bleek dat met praktische voermaatregelen een emissiereductie uit melkveestallen in Nederland van 20 a 25% ten opzichte van 1998 gehaald kan worden en dat de daling van het tankmelkureumgehalte daarbij een goede graadmeter van de emissiereductie kan zijn.

In de hierna opgenomen tabel zijn gemeten emissieniveaus, staltyperingen en omstandigheden van diverse onderzoeken samengevat. Deels kunnen we de emissies die op K&K-bedrijven en De Marke gemeten zijn hiermee vergelijken, deels bieden de onderzoeken ook zicht op mogelijkheden om door technische maatregelen in de stal emissies te verlagen. Enige achtergronden bij de tabel worden hieronder per onderzoek kort toegelicht. Tussen onderzoeken bestonden verschillen in meetmethode: meestal werd de ammoniakconcentratie nauwkeurig bepaald; daarnaast werd een tracergas (continu gedoseerd: ratiomethode of eenmalige doseringen en daarna uitdoofsnelheid bepalen; dit herhaald in de tijd) of de CO₂-balansmethode toegepast.

Op De Marke is eerder de ammoniakemissie van een stal met een hellende dichte vloer en van dezelfde stal met een sleufvloer gemeten. Daarbij werd het nutriëntenmanagement op De Marke geoptimaliseerd (Koskamp *et al.*, 2003). Op De Marke werden lage emissieniveaus gemeten doordat de mestkelder min of meer was afgesloten (vloerconstructie) en dankzij het management. In het verleden waren de zijwanden van De Marke voorzien van spaceboarding en ramen. Bij de latere metingen waren grote openingen in de zijwanden aangebracht en gordijnen waarmee men de openingen handmatig kon regelen. In het eerdere onderzoek werd de CO₂-balansmethode toegepast bij het bepalen van de ammoniakemissie; de emissieresultaten van De Marke in hoofdstuk 3 zijn verkregen met de SF₆ tracergasratiomethode.

Groot Koerkamp *et al.* (1998) hebben gedurende enkele dagen op diverse melkveebedrijven met ligboxenstallen en roostervloeren in Nederland, Duitsland, Engeland en Denemarken de ammoniakemissie gemeten met een eenvoudige meetmethode. In dat onderzoek werden geen detailgegevens verzameld over de voeding en het bedrijfsmanagement.

Snell *et al.* (2003) vergeleken emissies van vier Duitse melkveestallen met verschillende vloeruitvoeringen. Er waren verschillen tussen veestapels en de methode en duur van de metingen was beperkt (meetmethode: uitdoving van enkele malen geïnjecteerde tracergas). De metingen moeten we daarom als oriënterend beschouwen. De hoogste emissie werd door Snell *et al.* gevonden in een hellingstal met stro; de laagste emissies in een stal met een dichte vloer en een toplaag van asphalt en in een stal met in de ene stal helft een topvloer en in de andere helft een roostervloer. Zij rapporteerden tevens een sterk verband tussen windsnelheid en ventilatieniveau; het temperatuurniveau en het temperatuurverschil tussen stal en buitenlucht konden slechts een zeer beperkt deel van de variatie in ventilatie binnen de afzonderlijke bedrijven verklaren.

Zhang *et al.* (2005) vergeleken emissies uit negen Deense melkveestallen met verschillende vloeruitvoeringen en mest(behandeling)systemen. De emissie nam toe met de temperatuur, maar de mate waarin hing sterk af van het vloertype en het mest(behandeling)systeem.

Bron 1 ^e auteur, jaartal	Staltype	Vloer	Mest	NH ₃ emissie meting 1	NH ₃ emissie meting 2	Emissie- eenheid	T 1 (°C)	T 2 (°C)	Methodiek	Duur metingen 1 (dagen)	Duur metingen 2 (dagen)
Zhang, 2005	ligboxen	dicht, beton	delta schuif	76	26	per HPU, g/d	21.7	7.0	CO2 balans ratiomethode	3-5	3-5
Zhang, 2005	ligboxen	dicht, ingerold asfalt	schuif & drain	23	14	per HPU, g/d	17.4	6.2	CO2 balans ratiomethode	3-5	< 2
Zhang, 2005	ligboxen	beton met sleuven	schuif & drain	24	11	per HPU, g/d	19.9	6.1	CO2 balans ratiomethode	3-5	3-5
Zhang, 2005	ligboxen	beton met profiel	schuif & drain	20	9	per HPU, g/d	15.7	3.6	CO2 balans ratiomethode	3-5	< 2
Zhang, 2005	ligboxen	rooster	schuif in ondiep kanaal	14	27	per HPU, g/d	9.6	19.0	CO2 balans ratiomethode	3-5	3-5
Zhang, 2005	ligboxen	rooster	'back flushing'	68	12	per HPU, g/d	22.4	8.3	CO2 balans ratiomethode	3-5	3-5
Zhang, 2005	ligboxen	rooster	circulatie, zonder zuur	40	9	per HPU, g/d	13.2	2.3	CO2 balans ratiomethode	3-5	3-5
Zhang, 2005	ligboxen	rooster	circulatie, met zuur	16	22	per HPU, g/d	16.8	18.8	CO2 balans ratiomethode	3-5	3-5
Zhang, 2005	ligboxen	rooster	circulatie, met zuur	24	8	per HPU, g/d	14.7	6.2	CO2 balans ratiomethode	3-5	3-5
Zhang, 2005	ligboxen	rooster	circulatie, schuif op vloer	21	18	per HPU, g/d	19.5	5.8	CO2 balans ratiomethode	3-5	3-5
Zhang, 2005	ligboxen	rooster	circulatie, zonder additief	30	36	per HPU, g/d	16.6	17.3	CO2 balans ratiomethode	3-5	3-5
Zhang, 2005	ligboxen	rooster	circulatie, zonder additief	20		per HPU, g/d	6.3		CO2 balans ratiomethode	3-5	
Zhang, 2005	ligboxen	rooster	circulatie, met additief	22		per HPU, g/d	8.9		CO2 balans ratiomethode	3-5	
Snell, 2003	ligboxen	helft rooster; helft topvloer		39		per koe, g/d	winter		SF6 tracergasdecay monsterfiles	2	
Snell, 2003	ligboxen	mastiek-asfalt		40		per koe, g/d	winter		SF6 tracergasdecay monsterfiles	2	
Snell, 2003	hellingstal	hellingstal (met stro)	Mestschuif	85		per koe, g/d	winter		SF6 tracergasdecay monsterfiles	2	
Snell, 2003	ligboxen	rooster		57		per koe, g/d	winter		SF6 tracergasdecay monsterfiles	2	
Groot Koerkamp, 1998	ligboxen	rooster		48		per koe, g/d	10		CO2 balans ratiomethode	2 seizoenen x 4 stallen x 1 dag	
	ligboxen	rooster		32		per koe, g/d	11		CO2 balans ratiomethode	4 stallen x 1 dag	
	ligboxen	rooster		30		per koe, g/d	10		CO2 balans ratiomethode	4 stallen x 1 dag	
	ligboxen	rooster		24		per koe, g/d	8		CO2 balans ratiomethode	2 seizoenen x 4 stallen x 1 dag	
Demmers, 2001	ligboxen	rooster	Mestschuif	47		per LU, g/d	winter		CO tracergas ratiomethode	feb-mei (UK)	
Koskamp, 2003	ligboxen	sleufvloer (De Marke)	Mestschuif	26	22	per koe, g/d	zomer	zomer	CO2balans	weideseizoen	weideseizoen
	ligboxen	sleufvloer (De Marke)	Mestschuif						SF6 tracergas ratiomethode		
Gustafsson, 2005	grupstal	lange standen 2.2 m	74 cm grup met urinekanaal	24		per koe, g/d	16,5		Ventilator	winter 2000	winter 2001
	grupstal	standen 1,8 m	hydraulische schuif, hellende urineafvoer &						Ventilator		
		+ rooster 0,3 m	mestkoeling kelderafzuiging	15	18	per koe, g/d	13,2	15,2		winter 2002	

HPU: Heat Producing Unit; een hoogproductieve koe komt overeen met 1,3 HPU (exclusief jongvee). LU: Livestock Unit (500 kg levend gewicht); een hoogproductieve koe komt overeen met 1,2 LU

Bijlage 2 FPCM, DS-opname en RE-gehalte van het rantsoen

Ronde	Naam	Fpcm kg/dag	Ds-opname kg/dag	Re-gehalte g/kg ds
1	De Marke	30,4	23,3	160
2	De Marke	29,8	21,8	139
3	De Marke	25,8	20,1	166
4	De Marke	31,9	21,0	144
1	Bomers	20,1	18,7	160
2	Bomers	26,2	18,7	154
3	Bomers	23,0	22,3	144
1	Boekel	28,0	23,7	150
2	Boekel	24,7	21,0	189
1	Van Hoven	30,6	20,0	141
2	Van Hoven	28,0	18,9	171
1	Miedema	24,4	nb	nb
2	Miedema	22,5	17,9	174
1	Pijnenborg	27,3	21,4	159
2	Pijnenborg	25,8	20,5	141
1	Post	32,7	21,0	172
2	Post	31,8	22,0	155
1	De Vries	27,3	21,3	145
2	De Vries	25,8	20,0	142
1	Hoefmans	27,7	22,0	138
1	De Kleijne	24,8	19,9	161
1	Kuks	27,5	20,1	161
1	Van Wijk	28,6	20,7	151

Bijlage 3 Wijzigingen in stalsituaties

Tussen meetsessies is op sommige bedrijven de stalsituatie gewijzigd (o.a. ventilatietechnisch of door bezetting). Hierdoor kunnen opeenvolgende meetsessies niet meer volledig als herhaalde meting aan dezelfde experimentele eenheid beschouwd worden; dit afgezien van de tijd tussen twee metingen. Naarmate het tijdsverschil tussen twee metingen groter is, kunnen er ook meer niet gesignaleerde, geleidelijke trends een rol spelen.

Bedrijf	Ronde 1	Ronde 2	Ronde 3	Ronde 4
De Marke	een jongvee aanwezig* sleufvloer 'standaard'	jongvee aanwezig sleufvloer behandeld**	idem	idem
Bomers	kleine opening zijwand (oost); geen venturinok	vergrote opening zijwand en venturinok***	idem	
Boekel	normale veebezetting (62 mk)	lage veebezetting (54 mk); alleen rond melken binnen	nvt	
Van Hoven		geen wijzigingen t.o.v. ronde 1	nvt	
Miedema	stal met 111 mk	melkveegeedeelte stal vergroot tot 146 mk door verwijdering tussenwand (kopzijde)	nvt	
Pijnenborg		geen wijzigingen t.o.v. ronde 1	nvt	
Post	veel jongvee (35 stuks)*	minder jongvee (19 stuks)	nvt	
De Vries	zijwandopening 25 cm (west) stal met 54 mk	vergrote zijwandopening stal overbezet: 73 mk voor ca 60 dierplaatsen, met uitloop zodat mk deels buiten overnachten	nvt	

* Zie ook '%mk' in tabel 2

** De sleufvloer in de stal van De Marke werd behandeld om de grip te verhogen: Van het totale sleufvloeroppervlak werd 68% gestraald, van het overige oppervlak werd de helft (16%) voorzien van lengtegroeven en de andere helft van diagonale groeven.

*** Bij Bomers werd de ventilatieopening aan de oostzijde van de stal in de hoogte vergroot van 20 naar 40 cm en tevens werd een zogenaamde venturi-nok (opstaande randen die resulteren in meer onderdruk in de nokopening) aangebracht.

**** Bij De Vries werd aan de westzijde van de stal de ventilatieopening vergroot van circa 25 naar maximaal 95 cm. Tijdens de metingen werd met een gordijn een ventilatieopening gecreëerd van 50 cm.



Pijlen wijzen naar opstaande randen ('venturinok'), aangebracht op melkveestal Bomers



Melkveestal Pijnenborg met grote deuren aan kopzijde voergang open

Bijlage 4 Seizoensafhankelijke lokale ruwheid

In deze bijlage geven we de correctie (cor) van meethoogte (10 m) naar stalniveau (2 m) bij de ingeschatte lokale ruwheid. Omdat de lokale ruwheid seizoensafhankelijk is, wordt per meetsessie een waarde gespecificeerd.

Ronde	Bedrijf	m_Ruwheid	Cor
1	De Marke	0,25	0,50
2	De Marke	0,10	0,61
3	De Marke	0,24	0,51
4	De Marke	0,25	0,50
1	Bomers	0,10	0,61
2	Bomers	0,18	0,55
3	Bomers	0,18	0,55
1	Boekel	0,03	0,72
2	Boekel	0,05	0,68
1	Van Hoven	0,50	0,38
2	Van Hoven	0,50	0,38
1	Miedema	0,08	0,64
2	Miedema	0,08	0,64
1	Pijnenborg	0,08	0,64
2	Pijnenborg	0,10	0,61
1	Post	0,04	0,70
2	Post	0,05	0,68
1	De Vries	0,15	0,57
2	De Vries	0,20	0,53
1	Hoefmans	0,11	0,60
1	De Kleijne	0,25	0,50
1	Kuks	0,25	0,50
1	Van Wijk	0,23	0,51

Bijlage 5 Meer informatie tracergasratiomethode tijdens meetsessie bij Pijnenborg in ronde 2

Bij Pijnenborg verdween in ronde 2 vermoedelijk een substantieel deel van de in de stal gedoseerde SF6 vrijwel direct uit de stal door de ventilatieopeningen in de zijwand, bij de doseerpunten.

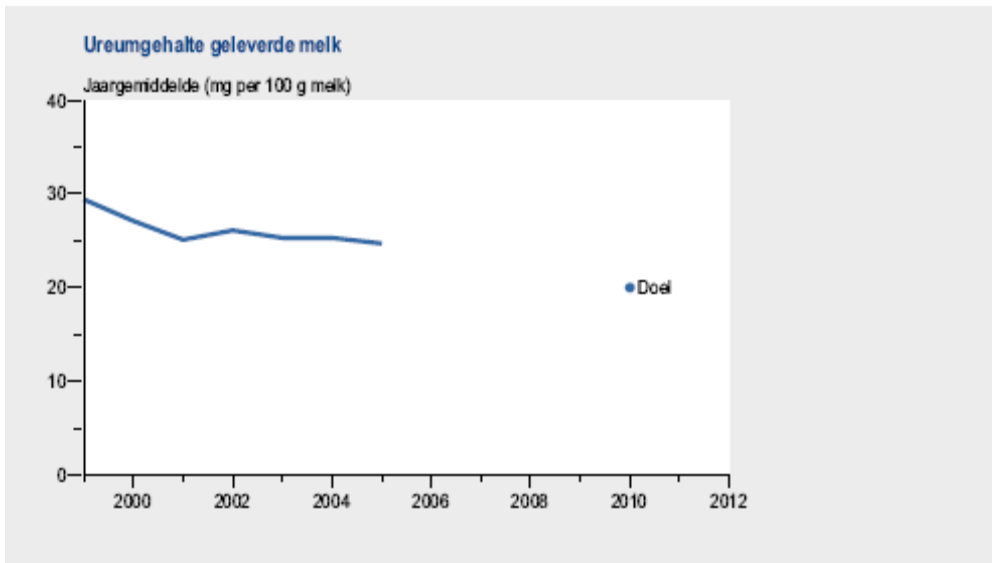
Als gevolg hiervan was de gemeten SF6-concentratie in de zijwand met de laagste concentratie relatief erg hoog ten opzichte van de SF6-concentratie in de nok (gemiddeld was dit tijdens de betreffende meetperiode 18% van de concentratie in de nok terwijl dit normaliter gemiddeld kleiner dan 5% is. De gemeten SF6-concentratie in de zijwand met de hoogste concentratie was zeer hoog: gemiddeld was dit tijdens de betreffende meetperiode 55% van de concentratie in de nok.

In dit geval was het niet erg aannemelijk dat NH₃ (uit urineplassen en de toplaag in de mestkelder) en SF6 (vanaf de doseerpunten) zich in de stallucht op identieke wijze verspreiden vanaf de bron.

Periodegemiddelde van laagste en hoogste gasconcentraties in de zijwanden (op basis van uurgemiddelden) als percentage van de gasconcentratie in de nok.

Gas	Laagste zijwand : Nok	Hoogste zijwand : Nok
SF6	18%	55%
NH3	19% (0.66 ppm)*	24%

De achtergrondconcentratie van ammoniak wordt mede bepaald door andere ammoniakbronnen (zowel in de directe nabijheid als verder gelegen); de achtergrondconcentratie van het tracergas SF6 mogen we als nihil beschouwen.

Bijlage 6 Dalende trend tankmelkureumgehalte (Bron: MNP, 2006)

Landelijk gemiddelde ureumgehalte in melk, 1999-2005 en afgesproken doel voor 2010 (Bron: Stichting Melkcontrolestation Nederland)

“Een groot deel van de melkveebedrijven hoeft geen emissiearme stallen in te voeren. In plaats daarvan is met de sector overeengekomen dat de melkveehouderij de ammoniakemissie beperkt door het veevoerrantsoen anders samen te stellen. De mate waarin een melkveehouder hierin succesvol is, kan worden afgemeten aan het ureumgehalte van de geleverde melk. Het doel is gesteld op 20 mg ureum per 100 g melk, te bereiken in 2010. Sinds het begin van de registratie van het ureumgehalte in 1999 is het gehalte gedaald van 29 mg per 100 g melk naar 25 mg per 100 g melk). Hierdoor zal de ammoniakemissie met circa 4 kiloton afnemen. Overigens blijkt dat de melkveehouderij op de zandgronden dichterbij het doel is dan de melkveehouderij op veengronden. Dit verschil laat zich verklaren doordat op zandgrond gemakkelijker maïs is te telen dan op veengrond” (MNP, 2006)