

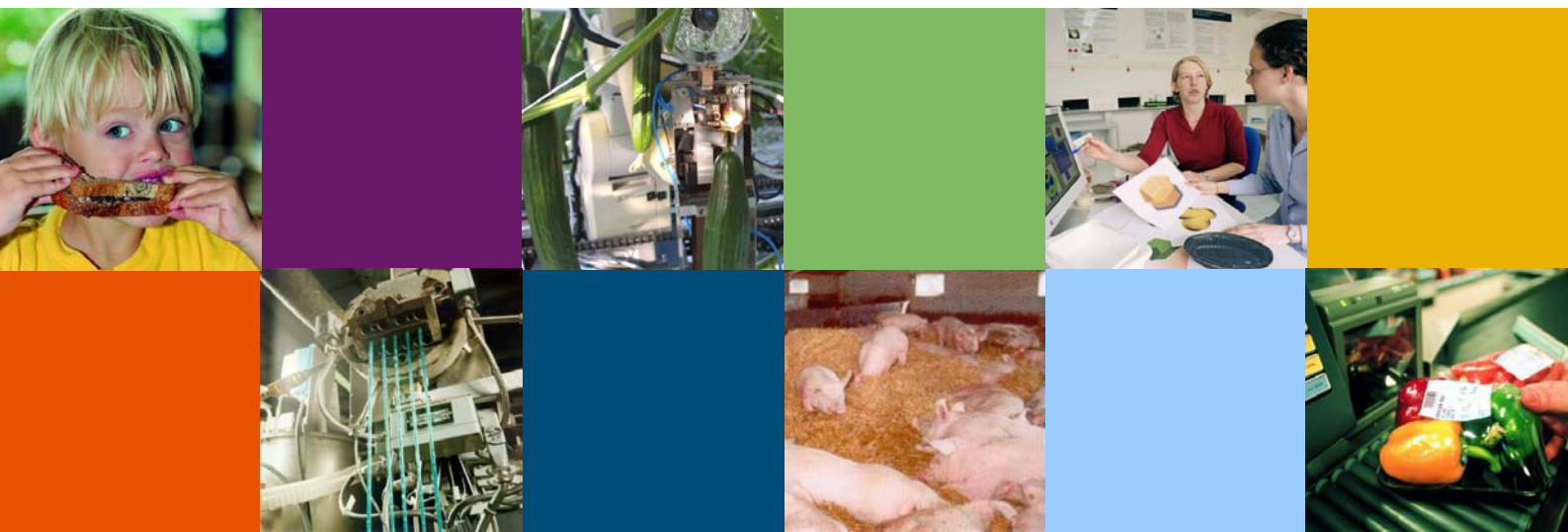
Ammoniakemissie bij bovengronds breedwerpige mesttoediening

Project VEL & VANLA



J.F.M. Huijsmans
J.M.G. Hol
M.C.J. Smits
B.R. Verwijs
H.G. van der Meer
B. Rutgers
F.P.M. Verhoeven

Report 136



Ammoniakemissie bij bovengronds breedwerpige mesttoediening

Project VEL & VANLA

J.F.M. Huijsmans¹

J.M.G. Hol¹

M.C.J. Smits¹

B.R. Verwijs¹

H.G. van der Meer²

B. Rutgers²

F.P.M. Verhoeven³

¹ Agrotechnology & Food Innovations

² Plant Research International

³ Rurale Sociologie

Colofon

Title	Ammoniakemissie bij bovengronds breedwerpige mesttoediening; Project Vel & Vanla
Author(s)	J.F.M. Huijsmans, J.M.G. Hol, M.C.J. Smits, B.R. Verwijs, H.G. van der Meer, B. Rutgers en F.P.M. Verhoeven
A&F number	136
ISBN-number	90-6754-769-7
Date of publication	April 2004
Confidentiality	n.v.t.
Project code.	n.v.t.

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

© Agrotechnology & Food Innovations B.V.

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

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

This report is authorised by: J.F.M. Huijsmans



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

Abstract

Researchers and farmers are looking for possibilities to reduce the volatilization of ammonia into the environment. In most cases technologies are developed to reduce volatilization from animal housing, manure storage and field application of manure. Attention is also given to reduce nitrogen (N) losses by farm management, specially by lowering the protein content of the diet resulting in a lower N-content of the manure. The aim of this study was to measure and compare the ammonia volatilization from broadcast surface applied N-poor and N-rich manure and to study for a selection of farms the effect of farm management on the total ammonia volatilization from animal housing and manure storage, grazing and field application of manure.

The field measurements showed that the N-poor and N-rich manure hardly differed in total ammonia volatilization (expressed as % of total ammonium-nitrogen applied). The average ammonia volatilization after broadcast surface spreading of the manures was 71% of total ammonium-nitrogen applied.

In the desk study N-excretion, N-utilization by crops, N-surplus and N-leaching was assessed for a selection of farms (n=6) that differed in protein content of the diet, productivity and method of manure application. The assessment of the total volatilization of ammonia on the selected farms showed that a large reduction of ammonia volatilization can be achieved by the use of application techniques that reduce ammonia volatilization (shallow injection) on both farms with a high and a low intensity. A low intensity and a low protein diet can contribute to reduce the ammonia volatilization. However, if this farm management is combined with broadcast surface application of the manure, still a high volatilization rate may result compared with an intensive farm with a high protein diet and low emission manure application.

Keywords: ammonia volatilization, manure application, nitrogen content of the manure, farm management, diet

Inhoud

Abstract	3
1 Inleiding	5
2 Ammoniakemissie na bovengronds breedwerpige mesttoediening	6
2.1 Meetmethode	6
2.2 Metingen	7
2.3 Resultaten en discussie	10
3 Bedrijfsemisatie en effect methode mesttoediening	14
3.1 Stikstofstromen en excreties	16
3.2 Ammoniakemissie	21
4 Conclusies	26
Literatuur	27
Dankwoord	29
Samenvatting	30
Bijlagen	32

1 Inleiding

In onderzoek en praktijk worden mogelijkheden ontwikkeld om de emissie van ammoniak terug te dringen. Het betreft veelal technieken waarmee de emissie vanuit de stal en de mestopslag of bij het toedienen van mest wordt gereduceerd. Op dit moment is de methode van mesttoediening vastgesteld volgens regels (BGDM, 1997). Het project Vel & Vanla beoogt stikstofverliezen te beperken door enkele aanpassingen van de bedrijfsvoering. De belangrijkste daarvan is het verstrekken van eiwitarme en structuurrijke rantsoenen aan de veestapel, waardoor o.a. verlaging van het stikstofgehalte van de mest wordt nagestreefd. De verwachting is dat door de stikstofarme mest en de keuze van het goede moment van breedwerpig mesttoediening de ammoniakemissie wordt beperkt (Verhoeven *et al.*, 2003).

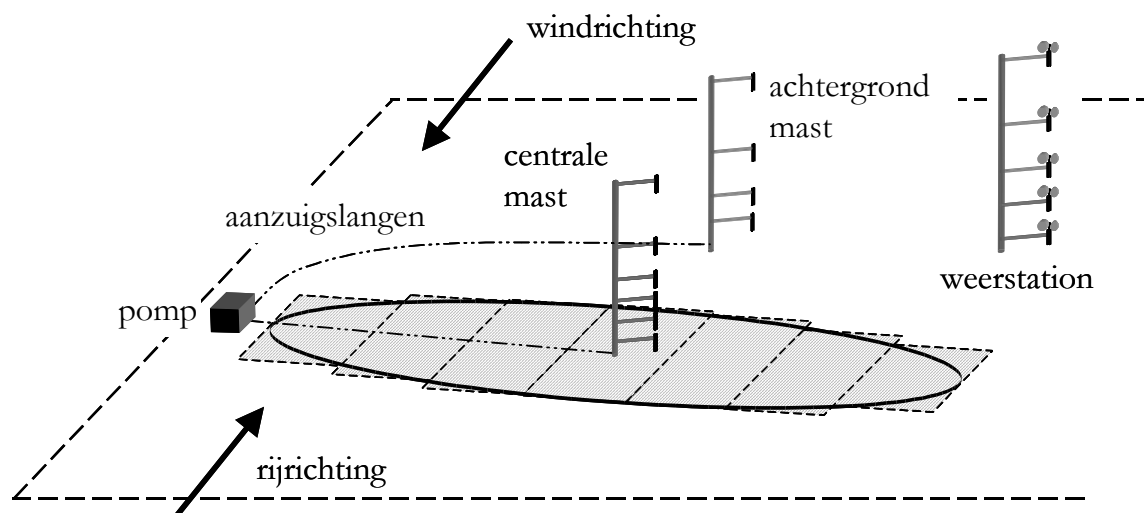
Doelstelling van het voorliggende onderzoek is om – op basis van emissiemetingen en modelberekeningen op bedrijfsniveau – een uitspraak te doen over de beperking van ammoniakemissie bij bovengronds breedwerpig toedienen van rundveemest van een melkveehouderijbedrijf met een eiwitarm rantsoen (N-arm) en van een bedrijf met een eiwitrijk rantsoen (N-rijk). In dit rapport worden de resultaten van de emissiemetingen beschreven en wordt een vergelijking gemaakt met resultaten van veldmetingen uit het verleden (hoofdstuk 2). In een deskstudie is vervolgens een analyse gemaakt van de effecten van verschillend bedrijfsmanagement op de ammoniakemissie. Hiertoe zijn een aantal praktijkbedrijven geselecteerd uit de Vel & Vanla database en onderling vergeleken (hoofdstuk 3). Tot slot worden de conclusies van de veldmetingen en de deskstudie samengevat (hoofdstuk 4).

2 Ammoniakemissie na bovengronds breedwerpige mesttoediening

De metingen van de ammoniakemissie werden uitgevoerd bij bovengrondse toediening van twee mestsoorten. Dit waren de mest van het Vel & Vanla bedrijf Bloemhoff met een eiwitarm rantsoen (N-arm) en mest van een melkveehouderijbedrijf met een eiwitrijk rantsoen (N-rijk).

2.1 Meetmethode

De ammoniakemissie werd gemeten met de micrometeorologische massabalans methode. Deze methode berust op de vergelijking van de 'binnenkomende' ammoniakstroom (flux) met de 'uitgaande' ammoniakstroom (Denmead, 1983). Beide fluxen worden gemeten in een denkbeeldig verticaal vlak dat loodrecht staat op de gemiddelde windrichting. Bij deze meetmethode wordt een cirkelvormig bemest proefveld aangelegd, waarbij de meetmast die de uitgaande ammoniakflux meet in het midden van de cirkel wordt geplaatst (centrale mast). De binnenkomende ammoniakflux wordt gemeten met een mast die bovenwinds aan de rand van de cirkel staat (achtergrond mast). Figuur 1 toont een overzicht van de opstelling van een meting volgens de micrometeorologische massabalans methode. Bij de centrale mast werden op 7 verschillende hoogtes (logaritmisch verdeeld) de bemonsteringspunten geplaatst (op 0,28, 0,38, 0,6, 1,01, 1,36, 2,03 en 3,13 m +mv). Bij de achtergrondmast waren dit 4 meetpunten. In bijlage A is de meetapparatuur weergegeven.



Figuur 1 Opbouw van een proefveld voor metingen volgens de micrometeorologische massabalansmethode, diameter proefveld ca 45 m.

De ammoniak in de lucht werd gemeten met behulp van een nat-chemische bemonsteringsmethode. Met impingers werd door middel van een pomp en aanzuigslangen gemiddeld $2,5 \text{ l min}^{-1}$ te bemonsteren lucht door gaswasflessen gevuld

met 20 ml absorptievloeistof (0,02 M HNO₃) geleid. De ammoniakemissie na het toedienen van mest neemt exponentieel af in de tijd. Daarom werden de monsternameperioden ingedeeld in de volgende tijdsperioden (uren na toediening van de mest): 0-1; 1-3; 3-6; 6-9; 9-24; 24-48; 48-72 en 72-96 uren. Het ammoniumgehalte in de absorptievloeistof werd bepaald met een ion-chromatograaf (Waters, protein-pak colom sp 5pw). De hoeveelheid bemonsterde lucht werd tweemaal per bemonsteringsperiode bepaald met een rotorflowmeter.

De bemeste velden hadden een oppervlakte van *ca* 0,15 ha en waren bij benadering rond (diameter *ca* 45 m), zodat bij verschillende windrichtingen de aanstroamlengte tot de centrale mast vrijwel gelijk bleef. Een cirkelvormig veld werd verkregen door de mest in banen uit te rijden. De lengte en breedte van deze banen werden opgemeten.

Met de gemeten ammoniakconcentraties werd per monsternameperiode het concentratieprofiel bepaald, waarbij de concentratie afneemt met de hoogte van het monsternamepunt op de meetmast. Het concentratieprofiel werd gecorrigeerd voor de gemiddelde inkomende ammoniakflux (achtergrondmast bovenwinds), waarbij de ammoniakconcentratie voor alle vier de monsternamepunten ongeveer gelijk is. Met de gemeten windsnelheden werd per monsternameperiode ook een windsnelheidsprofiel berekend. Met de windrichting en de afmetingen van een veld werd per monsternameperiode de gemiddelde aanstroamlengte (fetch) tot de centrale mast bepaald. Vervolgens werd met het concentratie- en windprofiel en de fetch, de emissie per monsternameperiode berekend. De emissie per meetinterval wordt weergegeven als percentage van de met de mest toegediende ammoniumstikstof (NH₄⁺-N). De totale (cumulatieve) emissie gedurende een meetessie (meetweek) wordt verkregen door optelling van de gemeten emissies in de aaneengesloten meetintervallen.

2.2 Metingen

proefopzet

Het onderzoek is uitgevoerd op een perceel grasland van het bedrijf Bloemhoff, te Surhuisterveen, dat deelneemt in het project Vel & Vanla. De ammoniakemissie werd gemeten bij bovengrondse toediening van twee mestsoorten (N-arm en N-rijk). In totaal zijn 2 meetessies uitgevoerd (2 meetperioden van 4 dagen) in het voorjaar van 2003 (week 10 en 11). In iedere meetessies werden 4 bemeste velden aangelegd met een beoogde mestgift van 20 m³ ha⁻¹. Het toedienen van de mest werd uitgevoerd met twee praktijkmachines. De mest werd via een ketsplaat bovengronds breedwerpig verspreid (Bijlage A). De inhoud van de mesttanks was *ca* 6 m³. Bij machine 1 was de ketsplaat vlak afgesteld en onderaan de tank geplaatst. De effectieve werkbreedte was *ca* 9 meter. Bij machine 2 was de ketsplaat verticaal en aan de bovenzijde van de tank geplaatst. De effectieve werkbreedte was *ca* 11 m. In Tabel 1 worden de combinaties tussen mestsoort en machine weergegeven. Binnen een meetessie werden steeds 2 velden met verschillende mestsoort zoveel mogelijk gelijktijdig aangelegd. Het aanleggen van de

volgende 2 velden gebeurde enige tijd later, omdat de mesttanks eerst werden gewogen en van mestsoort gewisseld werd tussen de 2 tanks.

Tabel 1 Overzicht van de verschillende bemeste velden in week 10 en 11 met bijbehorende starttijden van de metingen.

week 10 (4 tot 8 maart 2003)		
Mestsoort	N-arm	N-rijk
starttijd 1	8:21 (machine 1)	8:31 (machine 2)
starttijd 2	9:53 (machine 2)	9:38 (machine 1)
week 11 (10 tot 14 maart 2003)		
Mestsoort	N-arm	N-rijk
starttijd 1	8:13 (machine 1)	8:10 (machine 2)
starttijd 2	9:32 (machine 2)	9:40 (machine 1)

Mesttoediening en mestsamenstelling

Voorafgaand aan de aanleg van ieder veld werd de mesttank gevuld met een hoeveelheid mest die nodig was voor de aanleg van dat veld (3-3,5 m³). De totale machine werd gewogen op een weegbrug. Na het bemesten van een veld werd de machine teruggewogen. Vervolgens werd alle mest uit de tank gepompt en daarna weer gevuld met de andere mestsoort (zie Tabel 1). Tijdens het vullen van de tank werden 2 mestmonsters per tank genomen m.b.v. een bemonsteringsapparaat (foto Bijlage A). De mestmonsters werden geanalyseerd op gehalte NH₄⁺-N en totaal stikstof (N _{totaal}), drogestofgehalte (ds) en pH. Per veld werden de afmetingen van de bemeste banen (lengte en breedte) bepaald. Uit het verschilgewicht van de wegingen per mesttank en de afmetingen van het proefveld werd de mestgift berekend (m³ ha⁻¹). In Tabel 2 staat de mestgift per meetweek en per machine gegeven.

Tabel 2 Mestgift (m³ ha⁻¹) weergegeven per week en per machine.

	N-arme mest		N-rijke mest	
	Machine 1	Machine 2	Machine 1	Machine 2
Week 10	19,4	17,1	20,3	12,1
Week 11	19,2	19,4	20,2	19,0

De mestgiften van machine 2 in meetweek 10 waren lager dan gepland bovendien was de mestverdeling bij de N-rijke mest slecht. Dit werd veroorzaakt door onvoorziene problemen met de afstelling van machine 2 tijdens het toedienen van de mest. In Tabel 3 wordt de gemiddelde samenstelling van de mest per meetweek gegeven.

Tabel 3 Gehalten ammoniumstikstof ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), totaal stikstof (N_{totaal}), droge stof en de pH van de N-arme en N-rijke mest.

Proefveldomschrijving	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (g kg^{-1})	N_{totaal} (g kg^{-1})	Droge stof (%)	pH (-)
10 N-arm machine 1	1,52	3,32	7,8	7,7
10 N-arm machine 2	1,51	3,31	7,7	7,9
10 N-rijk machine 1	3,17	4,96	6,6	7,9
10 N-rijk machine 2	3,14	4,93	6,7	7,9
11 N-arm machine 1	1,48	3,22	7,6	7,5
11 N-arm machine 2	1,49	3,27	7,7	7,5
11 N-rijk machine 1	3,08	4,83	6,5	7,9
11 N-rijk machine 2	3,05	4,83	6,6	7,9

De mestmonsters waren per mestsoort goed vergelijkbaar. Dit gold voor beide meetweken. De N-rijke mest had een ammoniumgehalte dat ongeveer tweemaal zo hoog was dan in de N-arme mest. Het N_{totaal} gehalte was in de N-rijke mest *ca* 1,5 keer hoger dan in de N-arme mest. In de N-arme mest was het aandeel $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in N_{totaal} gemiddeld 46% en in de N-rijke mest gemiddeld 64% (Tabel 3). Voor N-rijke mest was dit opmerkelijk hoog. Het drogestofgehalte van de N-rijke mest was 1%-punt lager. Hierbij moet worden opgemerkt dat op het moment van aanleg van de proeven bleek dat de aangevoerde N-rijke mest bestond uit een bovenste laag mest uit een mestkelder die niet was gemixt. De N-rijke mest was aangevoerd naar een tussenopslag op de meetlocatie. Extra informatie over de achtergrond van de mest wordt in Bijlage B gegeven.

Grond- en gewasomstandigheden

Het perceel waarop de metingen uitgevoerd zijn was gekwalificeerd als een zandgrond (veldpodzolgrond) met sterk lemig (% < 50 μm circa 20%) en zeer fijn en matig fijn zand; een relatief nat perceel (gt III) en een organisch stof gehalte van circa 7%. Op de dag van aanleg van de velden werden grondmonsters genomen om de vochttoestand van de bodem vast te stellen. Per veld is, met behulp van een grondboor, 10 maal een monster gestoken van de bovenste 5 cm van de zode. Uit de verzamelde grond zijn per veld 2 verzamelmonsters genomen. Van de verzamelmonsters werd het vochtgehalte bepaald door de monsters voor en na drogen (24 uur bij 100°C) te wegen. Het vochtgehalte van de grond was in beide meetsessies *ca* 25%. Aan het einde van week 10 viel een grote hoeveelheid regen. Het gevolg was dat bij de start van week 11 de greppels in het perceel vol stonden met water en de ligging van een veld moest worden aangepast omdat er op sommige plaatsen plassen op het land stonden.

De gemiddelde grashoogte werd bepaald per veld. Met een grashoogtemeter werd 10 maal rondom een veld gemeten. De grashoogte was in beide meetweken *ca* 4,5 cm. De buitentemperatuur was nog laag zodat het gras nauwelijks groeide.

Weersomstandigheden

Om de emissie van een veld te kunnen berekenen werd naast de ammoniakconcentratie, de windsnelheid en de windrichting bepaald. Ook werd de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht en de hoeveelheid neerslag geregistreerd per experiment. Gedurende een gehele meetsessie werd de windsnelheid met behulp van cup-anemometers (Vector Instruments type A100R) op 5 hoogtes (logaritmisch verdeeld) gemeten. De gemiddelde meethoogten waren 0,28, 0,52, 1,34, 2,43 en 3,7 m +mv. De windrichting werd op 3,7 m hoogte gemeten (Vector Instruments W200P). De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid werden met een rotronic (Hygromer) op 1,5 m hoogte bepaald. De neerslag werd op 0,5 m hoogte bepaald met een regenmeter volgens het weegprincipe. De weersgegevens werden verzameld met behulp van een datalogger, waarin de gemiddelden van de waarnemingen iedere 15 minuten werden opgeslagen. In Bijlage C worden van iedere meetweek de weersomstandigheden gedurende de periode van de ammoniakemissiemetingen weergegeven. In Tabel 4 staan de gemiddelde gegevens gedurende de eerste 9 uur na de mesttoediening. Tijdens week 10 was sprake van enige neerslag en in week 11 bleef het droog.

Tabel 4 Gemiddelde windsnelheid op 2,25 m hoogte (m s^{-1}), temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) en relatieve luchtvochtigheid (%) gedurende de eerste 9 uur na toedienen van de mest per meetweek.

	week 10 starttijd 1	week 10 starttijd 2
Windsnelheid	3,8	4,3
Temperatuur	6,2	7,4
Relatieve luchtvochtigheid	74	69
	week 11 starttijd 1	week 11 starttijd 2
Windsnelheid	5,9	6,3
Temperatuur	9,7	10,4
Relatieve luchtvochtigheid	85	80

2.3 Resultaten en discussie

In Tabel 5 is de totaal gemeten emissie over *ca* 96 uur na de mesttoediening gegeven. De procentuele emissies (% van NH_4^+ -N gift) van de twee mestsoorten zijn vergelijkbaar behalve het veld week 10, starttijd 1, N-arme mest, dat een lagere procentuele emissie gaf. De ammoniakemissie na bovengronds breedwerpige toediening van N-arme en N-rijke mest was gemiddeld over alle metingen 71% van de NH_4^+ -N gift. Bij uitsluiting van week 10 starttijd 1 was de gemiddelde emissie 72,5% bij N-arme en 78,5% bij N-rijke mest.

Bij het aanleggen van het veld met N-rijke mest, in week 10 starttijd 1, traden problemen op met de mesttoediening. De beoogde mestgift kon niet worden bereikt vanwege problemen met de dosering van de machine. Hierdoor werd tevens de mest slecht verdeeld (onbemeste stroken in het veld). Dit kan een verstoring hebben gegeven van de meetprocedure en daarom zijn de resultaten van dit veld buiten beschouwing gelaten.

Tabel 5 Cumulatieve ammoniakemissie na toedienen van de 2 mestsoorten als % van de opgebrachte hoeveelheid NH_4^+ -N en in kg ha^{-1} .

Mestsoort	week 10 (% van NH_4^+ -N gift)		week 10 ($\text{kg NH}_3\text{-N ha}^{-1}$)	
	N-arm	N-rijk	N-arm	N-rijk
starttijd 1	46,2	*)	13,7	*)
starttijd 2	74,6	76,8	19,3	49,3

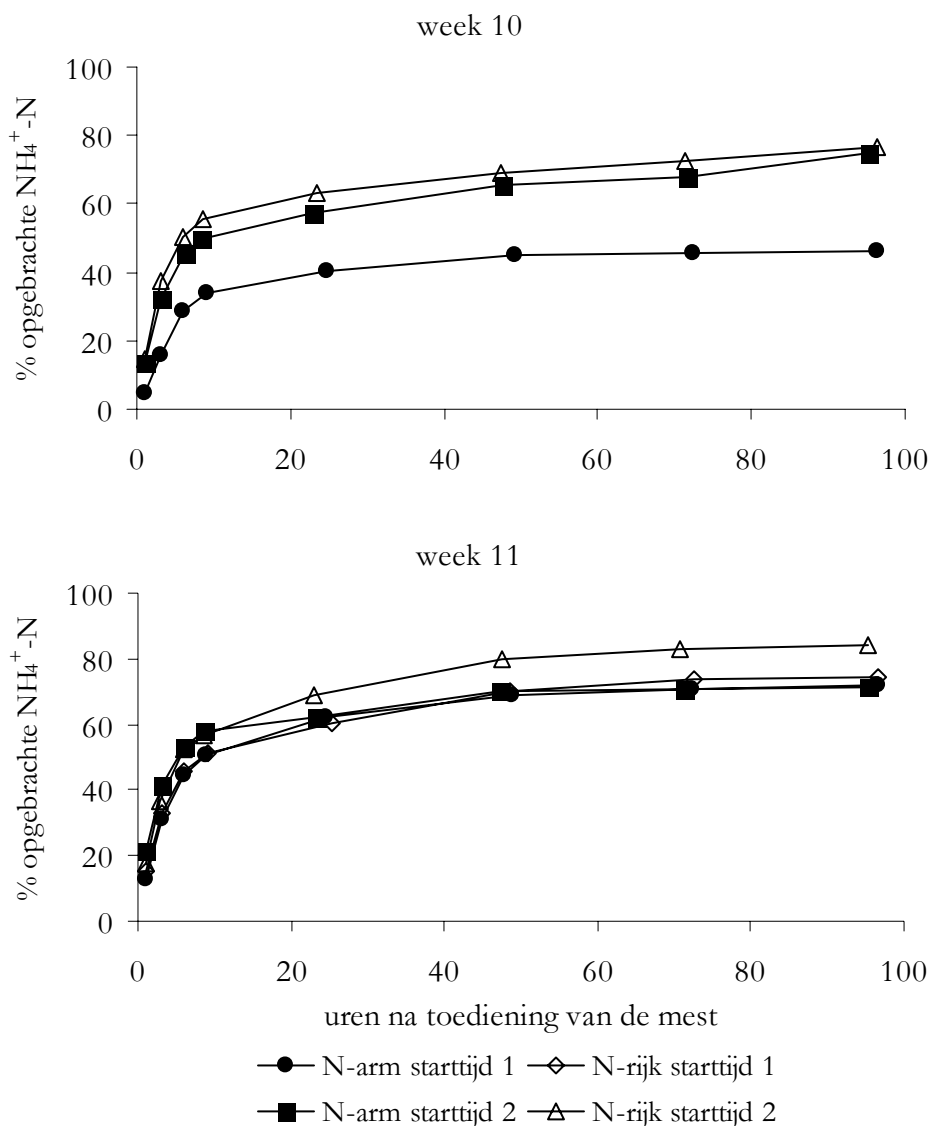
Mestsoort	week 11 (% van NH_4^+ -N gift)		week 11 ($\text{kg NH}_3\text{-N ha}^{-1}$)	
	N-arm	N-rijk	N-arm	N-rijk
starttijd 1	71,9	74,7	20,3	43,3
starttijd 2	71,1	83,9	20,5	52,2

*) Problemen met de mestdosering en verdeling

De emissieresultaten geven aan dat de ammoniakemissie uitgedrukt als % van de NH_4^+ -N-gift tussen de twee mestsoorten minimaal verschilde. Dit betekent dat een hoger NH_4^+ -N gehalte in de mest in absolute zin ook een hogere ammoniakemissie geeft. Het betekent ook dat de invloed op de emissie van andere aspecten van het bedrijfsmanagement (dan de aspecten die een lager NH_4^+ -N gehalte in de mest veroorzaken) met deze proeven niet wordt aangetoond. Het kleine gemeten verschil kan binnen de optredende spreiding van emissiemetingen vallen bij de toegepaste meetmethodiek. In eerder onderzoek, uitgevoerd op grasland, is aangetoond dat veel herhalingen nodig zijn om statistisch betrouwbare uitspraken te kunnen doen over effecten van bodem- en weersomstandigheden en mestsamenstelling op de ammoniakemissie. De significantie van het kleine gemeten verschil tussen de N-arme en N-rijke mest kan met het beperkte aantal metingen niet worden aangetoond.

De absolute emissie van de N-arme mest is ongeveer gehalveerd ten opzichte van de N-rijke mest. De gemiddelde emissie was 20 kg ha^{-1} bij de N-arme mest en 48 kg ha^{-1} bij de N-rijke mest (exclusief week10, starttijd 1). De verschillen tussen de absolute ammoniakemissies worden behalve door de verschillen in ammoniumgehalte ook veroorzaakt door de opgetreden verschillen in mestgift.

In Figuur 2 wordt het emissieverloop van de verschillende velden per week weergegeven. Alle metingen gaven het karakteristieke beeld van een verloop van de ammoniakemissie na mesttoediening. Gedurende de eerste dag na toediening (de eerste 9 uur overdag) emitteerde meer dan 60% van de totale gemeten emissie. De daaropvolgende dagen daalde de emissie tot een niveau van nauwelijks emissie.



Figuur 2 Cumulatieve ammoniakemissie per meetweek.

Vergelijking van de emissie bij de twee starttijden voor N-arme mest in week 10 geeft aan dat bij starttijd 2 een hogere emissie optrad. Dit werd veroorzaakt door de verschillen in emissie kort na het uitrijden (Figuur 2). Het verschil in weersomstandigheden tussen de twee starttijden is hier mogelijk de oorzaak van. Bij starttijd 1 was de temperatuur de eerste 3 uren na uitrijden duidelijk lager dan bij starttijd 2, maar de windsnelheid was wel hoger. Het verschil in weersomstandigheden tussen de twee starttijden was in week 11 minder groot. Huijsmans *et al.* (2001, 2003) geven aan dat de ammoniakemissie na het toedienen van mest sterk beïnvloed wordt door weersomstandigheden tijdens en vlak na het toedienen van de mest. De ammoniakemissie wordt bevorderd door weersomstandigheden die verdamping stimuleren, zoals een hoge windsnelheid, temperatuur en straling en een lage relatieve luchtvochtigheid. Interacties tussen deze

factoren treden op waardoor niet altijd eenduidig de hoogte van de emissie verklaard kan worden. Het ammoniumgehalte van de mest en de mestgift zijn tevens belangrijke factoren voor de hoogte van de absolute ammoniakemissie.

Elke meetsessie (starttijd en meetweek) moet gezien worden als één meting. Verschillende meetsessies kunnen gezien worden als herhalingen, echter de omstandigheden waaronder gemeten is, zullen verschillend zijn voor de grond, het gewas en het weer. Vanuit eerder onderzoek, uitgevoerd op grasland, blijkt dat er veel herhalingen nodig zijn om statistisch betrouwbare uitspraken te kunnen doen over effecten van bodem- en weersomstandigheden en mestsamenstelling op de ammoniakemissie. De resultaten van de uitgevoerde metingen sluiten goed aan bij die van eerdere metingen. In de periode 1989 tot en met 1993 zijn emissiemetingen gedaan op grasland met toen beschikbare apparatuur en mestsamenstellingen (Huijsmans *et al.*, 2001). In 40 metingen waarbij rundermest bovengronds breedwerpig werd toegediend was de mestgift toen gemiddeld $14 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ($8\text{-}25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) met een gemiddelde $\text{NH}_4^+\text{-N}$ gehalte van $2,15 \text{ g kg}^{-1}$ ($1,5\text{-}3,3 \text{ g kg}^{-1}$). De samenstelling van de in de proef opgenomen mestsoorten valt binnen de spreiding van de in de periode 1989-1993 gebruikte mestsamenstellingen. De 2 mestsoorten in dit onderzoek verschilden in de gehalten $\text{NH}_4^+\text{-N}$ en N_{totaal} . Dit kan het gevolg zijn van het bedrijfsmanagement, met name van de rantsoensamenstelling. Hierbij moet opgemerkt worden dat de N-rijke mest voor een belangrijk deel bestond uit de vloeibare fractie; de mest was niet gemixt en alleen de bovenlaag is gebruikt in de proeven. De vloeibare fractie bevat in verhouding een hoger gehalte aan $\text{NH}_4^+\text{-N}$ en een lager gehalte aan organische-N (Tabel 3).

Emissies na het uitrijden van mest vertonen altijd spreiding. In het onderzoek in de periode 1989-1993 was de emissie na bovengronds breedwerpig toedienen gemiddeld 69% van de opgebrachte hoeveelheid $\text{NH}_4^+\text{-N}$, waarbij de resultaten tussen de 29 en 98% lagen. De resultaten van het huidige onderzoek sluiten goed aan bij dit eerder uitgevoerd onderzoek. Zo vonden Huijsmans *et al.* (2001) dat de emissiesnelheid toe nam bij een verhoging van het gehalte aan ammoniakale stikstof in de mest, de mestgift, de windsnelheid, de zonnestraling en de luchttemperatuur. De emissiesnelheid nam daarentegen af bij een hogere relatieve luchtvochtigheid. Welke factoren de emissie beïnvloedden verschilde per toedieningstechniek. De grashoogte was van invloed op de emissie bij de mesttoediening met een sleepvoetenmachine. Het is altijd een combinatie van de factoren die de uiteindelijke hoogte van de emissie bepaald. Zo kan ondanks een lage luchttemperatuur de emissie toch hoog uitkomen bij veel zonnestraling en hoge windsnelheid. Søgaard *et al.* (2002) vonden dezelfde invloedsfactoren bij de analyse van een database veldemissiegegevens in Europa.

3 Bedrijfsemisatie en effect methode mesttoediening

In het voorgaande hoofdstuk is onderzoek gerapporteerd naar de ammoniakemissie bij bovengronds breedwerpig toedienen van N-arme rundveemest en van N-rijke rundveemest. Behalve door de ammoniakemissie na mesttoediening wordt de bedrijfsemisatie bepaald door de stalemissie, de emissie bij weidegang en de emissie uit mest die buiten de stal wordt opgeslagen. Om de impact van verschillende methoden van mest uitrijden (bovengronds versus emissiearm) op de totale bedrijfsemisatie te illustreren, zijn de emissies van de hiervoor genoemde bronnen berekend bij een zestal geselecteerde bedrijven die participeerden in het Vel & Vanla project. De selectie van bedrijven was er op gericht om (A) het effect van het voederrantsoen en bedrijfsvoering ten aanzien van de ammoniakemissie te verkennen en (B) de invloed te kwantificeren die de methode van mest uitrijden daarbij heeft op de totale ammoniakemissie. Cruciaal hierbij was de vraag of bij bovengrondse toediening van mest een lage bedrijfsemisatie bewerkstelligd kan worden door een extensieve bedrijfsvoering met een eiwitarm rantsoen in vergelijking met emissiearme toediening bij een intensieve(re) bedrijfsvoering en een eiwitrijker rantsoen.

Een selectie van bedrijven en data uit de Vel & Vanla-onderzoeksdatabase is gemaakt en besproken met Vel & Vanla. De methode van mesttoediening, de (eiwit-)voeding van het melkvee en de intensiteit van de bedrijfsvoering waren daarbij leidend. Bedrijven zijn geselecteerd die de mest bovengronds breedwerpig verspreiden naast bedrijven die een emissiebeperkende methode toepassen. Daarbij is getracht om bedrijven naast elkaar te zetten met een typisch eiwitarm of eiwitrijk rantsoen en met uitsluitend gras of gras en maïs als ruwvoer. De algemene bedrijfskenmerken van de geselecteerde bedrijven zijn samengevat in Tabel 6. Bedrijf 10 is het bedrijf waar de N-arme mest bij de veldemissiemetingen van afkomstig was. De bedrijven 22 en 36 gebruiken uitsluitend gras als ruwvoer; op de bedrijven 10, 37, 47 en 56 wordt ook maïs gebruikt. Op alle bedrijven wordt er naar gestreefd het gras in een ouder stadium te maaien om eiwitarme en structuurrijke rantsoenen te realiseren. De bedrijven 37 en 47 en 56 worden als intensief aangeduid, met veel maïs in het rantsoen.

In paragraaf 3.1 worden de niet gasvormige N-stromen op de bedrijven met behulp van het model FARMMIN gekwantificeerd en wordt de daarbij berekende N-excretie vergeleken met de gemeten N-excretie. In paragraaf 3.2 worden de ammoniakemissies uit stal, weide en na toediening gekwantificeerd met behulp van een emissiemodel per bron.

Tabel 6 Algemene bedrijfskenmerken van de 6 geselecteerde bedrijven.

Bedrijfsnr.	10	22	36	37	47	56
Mesttoediening grasland	bovengronds breedwerpig	bovengronds breedwerpig	zodenbemesting	bovengronds breedwerpig	zodenbemesting	2/3 sleepslangenmachine*) 1/3 zodenbemesting
Mesttoediening bouwland	bovengronds breedwerpig	-	-	-	injectie	2 gangen onderwerken
Voeding	eiwitarm gras en maïs	eiwitarm gras	eiwitarm gras	eiwitarm gras en veel maïs	gras en veel maïs	gras en veel maïs
Bedrijfsvoering**)	extensief	extensief	extensief	intensief	intensief	intensief
Opmerkingen	-	veel grasland kleine percelen	-	maïs aankoop	-	-

*) Vel & Vanla- machine

**) Geleverde melk per ha: extensief < 10.000 kg jaar⁻¹, intensief > 12.000 kg jaar⁻¹

3.1 Stikstofstromen en excreties

De geselecteerde bedrijven zijn doorgerekend met het model FARMMIN (Evert *et al.*, 2003; Schoumans *et al.*, 2002) om het productieproces te simuleren en de daarmee gepaard gaande N-stromen te kwantificeren. Het model bevat de gewasmodule QUADMOD (Berge *et al.*, 2000), een diermodule en een mestmodule. QUADMOD berekent de netto-gewasopbrengst van gras en maïs in afhankelijkheid van het N-aanbod (uit bodem en bemesting), de maximale gewasopbrengst (afhankelijk van bodem, weer en management) en de verliezen bij oogst, conservering en vervoeding. De diermodule berekent de behoefte aan VEM, DVE en P van de veestapel (afhankelijk van diercategorie, aantal dieren en productieniveau) en, afhankelijk van de voerproductie op het eigen bedrijf, de noodzakelijke aankoop van ruwvoer en krachtvoer. De mestmodule berekent de excretie van N in de stal en de weide en de hoeveelheid N in de mest die uiteindelijk voor de gewassen beschikbaar is. Doel van de berekeningen was inzicht te krijgen in het functioneren van deze bedrijven en in hun interne N-stromen. Tabel 7 geeft een overzicht van de belangrijkste bedrijfsgegevens die als invoer voor de berekeningen zijn gebruikt. Deze gegevens zijn ontleend aan de Vel & Vanla-database en hebben betrekking op het jaar 2001/2002 (Verhoeven *et al.*, 2003).

Tabel 7 Kenmerken van de 6 met FARMMIN doorgerekende Vel & Vanla-bedrijven in 2001/2002.

Bedrijfsnr.	10	22	36	37	47	56
Oppervlakte grasland (ha)	32,8	69,8	38,9	39,4	41,1	54,8
Oppervlakte maïsland (ha)	6,0	-	-	-	19,9	3,0
Geleverde melk (ton jaar ⁻¹)	334	636	378	615	894	702
Geleverde melk per ha (kg jaar ⁻¹)	8.611	9.111	9.725	15.614	14.660	12.142
Aantal melkkoeien	46,2	113,2	57,0	80,0	109,3	92,0
Productie per koe (kg FPCM jaar ⁻¹) ¹⁾	7.654	6.082	7.155	8.270	8.548	8.315
Aantal kalveren (< 1 jaar)	14	48	16	34	42,5	43,5
Aantal pinken (1-2 jaar)	15,8	55	16	35	32,5	44,5
Weideseizoen melkkoeien (dagen) ²⁾	217	198	196	163	146	172
Weidegang (uren dag ⁻¹)	20	20	20	8	6	8
NLV grasland (kg N ha ⁻¹ jaar ⁻¹) ³⁾	198	200	172	185	154	185
Kunstmest-N grasland (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	115	124	83	146	96	190
Kunstmest-N maïsland (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	95	-	-	-	49	60
N-aanvoer krachtvoer (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹) ⁴⁾	44	70	41	139	170	102
N-aanvoer ruwvoer (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹) ⁵⁾	-	-	-	79	22	40
Aangekocht voer (kVEM ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	1.740	2.321	2.506	8.676	5.860	6.359

¹⁾ FPCM: vet- en eiwit-gecorrigeerde melk; ²⁾ voor kalveren en pinken op alle bedrijven resp. 0 en 185 dagen; ³⁾ NLV: stikstofleverend vermogen; voor snijmaïs is gerekend met 2/3 van deze waarden; ⁴⁾ inclusief natte bijproducten; ⁵⁾ snijmaïs op de bedrijven 37 en 56, gras op 47

Belangrijke verschillen tussen de bedrijven zijn de bedrijfsgrootte, de veebezetting en melkproductie per ha, de melkproductie per koe, het graslandgebruik, het gebruik van snijmaïs (eigen productie, aangekocht) en de hoeveelheid (N in) aangekocht voer. De MINAS-balansen van deze bedrijven in 2001/2002 staan vermeld in Tabel 8. De extensieve bedrijven (10, 22 en 36) voldeden in 2001/2002 ruimschoots aan de MINAS-eindnorm, terwijl de bedrijven 37 en 56 nog een te groot N-overschot hadden.

Tabel 8 De MINAS-balansen van de 6 bedrijven in 2001/2002 en de toelaatbare N-overschotten volgens de eindnorm van MINAS voor goed vochthoudende zandgrond. Cijfers in kg N ha⁻¹ jaar⁻¹, ontleend aan de Vel & Vanla-database.

Bedrijfsnr.	10	22	36	37	47	56
<i>N-aanvoer</i>						
Dierlijke mest	0	0	41	0	0	7
Kunstmest	112	124	83	146	81	183
Krachtvoer ¹⁾	44	70	41	139	170	102
Ruwvoer	0	0	0	79	22	40
Totaal	156	194	165	364	273	332
<i>N-afvoer</i>						
Melk	48	52	56	89	81	70
Omzet en aanwas	7	12	7	14	10	12
Ruwvoer	0	0	0	0	0	0
Dierlijke mest	0	0	0	0	0	0
Totaal	55	64	63	103	91	82
<i>Minas-overschot</i>						
Toelaatbaar overschot in 2004 ²⁾	101	130	102	261	182	250
	168	191	180	207	185	190

¹⁾ plus natte bijproducten

²⁾ voorziene eindnormen voor gras- en maïsland op normale gronden plus de diercorrectie

Berekening N-excreties

Voor de 6 geselecteerde bedrijven zijn met FARMMIN, volgens de in bijlage D beschreven methode, de rantsoenen en de N-excreties van het melkvee en jongvee berekend. Op de bedrijven is de voeropname en -samenstelling door de lacterende melkkoeien gemeten door 3 of 4 keer in het stalseizoen gedurende een week het verstrekte rantsoen te wegen en te bemonsteren voor chemische analyses door het BLGG in Oosterbeek. In het weideseizoen is de voeropname meestal 2 maal geschat op basis van de VEM-behoefte van de melkkoeien en chemische analyse van de rantsoencomponenten. Hierbij is het vers gras bemonsterd door het uitmaaien van stroken. Op basis van genoemde metingen is de N-excretie door het melkvee per bedrijf bepaald als het verschil in N-opname (voer) en N-uitscheiding in melk (melkeiwit). De N-retentie in het lichaam (groei van koe en eventuele dracht) is verwaarloosd (Bijlage E).

Tabel 9 geeft de berekende N-excreties door de melkkoeien en het jongvee volgens FARMMIN en de 'gemeten' N-excreties op basis van het verschil tussen N-opname (voer) en N-uitscheiding via de melk (Bijlage E).

Tabel 9 Berekende N-excreties door melkkoeien en jongvee en 'gemeten' N-excreties door de melkkoeien op de 6 bedrijven.

Bedrijfsnr.	10	22	36	37	47	56
<i>Berekend volgens Farmmin</i>						
Melkkoeien zomer (g dier ⁻¹ dag ⁻¹)	372	359	375	400	375	439
Melkkoeien winter (g dier ⁻¹ dag ⁻¹)	244	260	292	286	369	248
Melkkoeien (kg dier ⁻¹ jaar ⁻¹)	117	114	123	123	136	123
Kalveren hele jaar (g dier ⁻¹ dag ⁻¹)	93	99	95	107	92	112
Pinken zomer (g dier ⁻¹ dag ⁻¹)	226	235	227	248	244	271
Pinken winter (g dier ⁻¹ dag ⁻¹)	174	182	176	193	178	210
<i>'gemeten'</i>						
Melkkoeien zomer (g dier ⁻¹ dag ⁻¹)	415	318	375	363	369	396
Melkkoeien winter (g dier ⁻¹ dag ⁻¹)	305	332	356	319	381	334

De berekende N-excreties van de melkkoeien zijn in de zomer gemiddeld iets hoger en in de winter lager dan de 'gemeten' excreties. Dat kan verband houden met de minimalisatie van voerkosten in FARMMIN, waardoor de verdeling van de gebruikte voeders over de zomer en de winter mogelijk wat anders is dan in de praktijk (Bijlage D). Bij de gepresenteerde verschillen tussen berekende en 'gemeten' N-excreties van de melkkoeien moet er rekening mee worden gehouden dat de 'gemeten' excreties alleen bepaald zijn voor de melkgevende koeien, terwijl de berekende excreties gelden voor zowel de lactatieperiode als de droogstand. De 'gemeten' waarden zijn dus een kleine overschatting van de werkelijke N-excretie van de melkkoeien. Verder viel op dat de gemeten N-gehalten in de rantsoenen van de weidende melkkoeien onwaarschijnlijk laag zijn voor graslandbedrijven, namelijk 26-27 g N per kg drogestof. Mogelijk komt dit doordat bij het uitmaaien van de stroken het gras dieper is ontbladerd dan bij begrazing, waardoor meer N-arm materiaal is geoogst.

Uit Tabel 9 blijkt dat de verschillen tussen de bedrijven kleiner zijn dan verwacht, zowel bij de berekende als bij de gemeten N-excreties. De berekende N-excreties van de melkkoeien variëren tussen 114 en 136 kg koe⁻¹ jaar⁻¹. Deze verschillen kunnen voor een belangrijk deel verklaard worden uit de verschillen in melkproductie en dus in voeropname per koe (Tabel 7). Op 5 van de 6 bedrijven is de N-excretie van de melkkoeien lager dan de 129 kg koe⁻¹ jaar⁻¹, die door de Commissie Tamminga als landelijk gemiddelde in 2003 werd geschat (Tamminga *et al.*, 2000). Op bedrijf 47 is de N-excretie door het melkvee het hoogst; op dit bedrijf wordt relatief veel eiwitrijk

krachtvoer gebruikt (Tabel 8). De N-excretie door melkvee op de pure graslandbedrijven 22 en 36 is laag voor dit type bedrijven.

Uit de N-excreties per dier per dag (Tabel 9), de veebezetting en het graslandgebruik (Tabel 7) zijn de N-excreties in de stal en de weide berekend. Deze staan vermeld in Tabel D3 van Bijlage D. Het blijkt dat de bedrijven sterk verschillen in de verdeling van de totale N-excretie over de stal en de weide. Dit heeft invloed op de totale ammoniakemissie van het bedrijf.

Bemesting

Tabel 10 geeft een overzicht van berekende N-giften uit dierlijke mest en kunstmest op grasland en de daarbij gerealiseerde netto-graslandopbrengsten. De netto-opbrengsten zijn hier berekend als de som van de hoeveelheid drogestof en N die door het weidende vee is opgenomen en de hoeveelheid die met gemaaid gras van het perceel is afgevoerd voor stalvoeding of conservering (exclusief inkuil- en vervoederingsverliezen).

Tabel 10 Berekende N-giften uit dierlijke mest en kunstmest op grasland en netto drogestof- en N-opbrengsten (alles in kg ha⁻¹ jaar⁻¹).

Bedrijfsnr.	10	22	36	37	47	56
N-totaal drijfmest	81	131	151	250	282	207
N-totaal weidemest	115	130	107	85	72	83
Werkzame drijfmest-N	20	32	77	62	140	103
N uit kunstmest	115	124	83	146	96	190
Totaal N-effectief	135	156	160	208	236	293
Netto drogestofopbrengst gras	9.421	9.827	9.357	10.305	10.558	10.795
Netto N-opbrengst gras	264	281	260	305	302	353

Grote verschillen treden op tussen de bedrijven in de giften werkzame drijfmest-N op het grasland. Deze verschillen worden veroorzaakt door verschillen in de hoeveelheid mest die op stal wordt geproduceerd (Tabel D3 in Bijlage D), die vooral afhankelijk is van de veebezetting en het graslandgebruik (Tabel 7) en door verschillen in de methode van mesttoediening (Tabel 6). Keuze van emissiearme mesttoediening zal op de bedrijven 10 en 22 betrekkelijk weinig effect op de gift werkzame drijfmest-N hebben, omdat er maar betrekkelijk weinig mest op stal wordt geproduceerd. Voor bedrijf 37 is dat duidelijk anders (Tabel 10). De bedrijven met bovengronds breedwerpige mesttoediening (10, 22 en 37) en bedrijf 56 gebruiken relatief veel kunstmest-N. De totale gift N-effectief (werkzame drijfmest-N + kunstmest-N) op het grasland van de 6 bedrijven varieert van gemiddeld 135 tot 293 kg ha⁻¹ jaar⁻¹ op respectievelijk de bedrijven 10 en 56 (Tabel 10). De verschillen in N-gift, NLV en graslandgebruik (Tabel 7) bepalen samen de verschillen in N- en drogestofopbrengst.

Tabel 11 presenteert de berekende N-giften uit dierlijke mest en kunstmest op het maïsland en de daarbij berekende drogestof- en N-opbrengsten. Ook op het maïsland blijkt de N-gift op bedrijf 56 hoger te zijn dan op de andere bedrijven.

Tabel 11 Berekende N-giften uit dierlijke mest en kunstmest op maïsland en netto drogestof- en N-opbrengsten (alles in kg ha⁻¹ jaar⁻¹).

Bedrijfsnr.	10	22	36	37	47	56
N-totaal drijfmest	76	-	-	-	149	241
N-effectief drijfmest	19	-	-	-	74	120
N uit kunstmest	95	-	-	-	49	60
Totaal N-effectief	114	-	-	-	123	180
Netto drogestofopbrengst maïs	12.075	-	-	-	12.063	12.075
Netto N-opbrengst maïs	168	-	-	-	162	169

Nitraatuitspoeling

Aan het eind van het groeiseizoen van 2002 (eind oktober/begin november) zijn Nmin-bepalingen uitgevoerd op het grasland van de bedrijven 10, 22 en 37. Per bedrijf zijn 4 percelen bemonsterd die in het voorafgaande groeiseizoen een gemengd gebruik van weiden en maaien hadden gehad. Per perceel werden 4 mengmonsters genomen van de bodemlagen 0-30, 30-60 en 60-90 cm. Gemiddeld bevatten de 4 bemonsterde percelen op de bedrijven 10, 22 en 37 respectievelijk 43, 51 en 34 kg ha⁻¹ Nmin (NO₃⁻-N + NH₄⁺-N) in de bodemlaag van 0 tot 90 cm; het aandeel NO₃⁻-N hierin was respectievelijk 39, 28 en 25 kg ha⁻¹. Voor productiegrasland zijn dit lage waarden. Door de overvloedige neerslag in de nazomer was misschien een deel van de residuaire Nmin al uitgespoeld uit de bemonsterde bodemlaag. Een gering deel (ca 20%) van de NO₃⁻-N bevond zich in de bodemlaag 60-90 cm; dit suggereert dat op het moment van bemonsteren nog maar weinig nitraatuitspoeling had plaats gevonden.

Op de bedrijven 10 en 22 is in juli 2003 het nitraatgehalte in het bovenste grondwater bepaald op dezelfde percelen waar in het najaar van 2002 de hoeveelheid residuaire Nmin in de bodem was bepaald. Per perceel werden 7 boringen verricht en in elk boorgat werd het nitraatgehalte in duplo bepaald. Tijdens de bemonstering varieerde de grondwaterstand op bedrijf 10 tussen 1,60 en 2,10 m beneden maaiveld en op bedrijf 22 tussen 1,45 en 2,10 m beneden maaiveld. Het gemiddelde nitraatgehalte in het bovenste grondwater was 10 mg liter⁻¹ op bedrijf 10, en 16 mg liter⁻¹ op bedrijf 22. De verschillen tussen de percelen waren klein; die tussen de boringen binnen een perceel waren aanzienlijk, hoewel in individuele boringen de grens van 50 mg nitraat liter⁻¹ maar in één geval werd overschreden. De op deze bedrijven gemeten nitraatgehalten zijn laag. Op enkele intensievere Vel & Vanla-bedrijven (niet opgenomen in de huidige bedrijfsselectie, Tabel 6) werden op hetzelfde moment nitraatgehalten in het bovenste grondwater gevonden van 34-67 mg liter⁻¹. Hoewel deze metingen maar in één jaar zijn uitgevoerd,

waren ook de N-giften en N-overschotten op de bemonsterde bedrijven zodanig laag dat een goede grondwaterkwaliteit verwacht mag worden.

Meer & Meeuwissen (1989) berekenden dat voor overwegend beweide grasland op uitspoelingsgevoelige zandgronden de kritische gift werkzame N voor goede grondwaterkwaliteit (< 50 mg nitraat per liter) $170-180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ is en voor grasland bij gemengd gebruik (maaieren en weiden) $200-250 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Deze kritische N-giften worden door metingen in Nederland en Engeland bevestigd (Macduff *et al.*, 1990). Uit Tabel 10 blijkt dat de bedrijven 10 en 22 ruim onder deze kritische grenzen bleven en dat alleen bedrijf 56 een aanzienlijk hogere N-gift op grasland had. Op bedrijf 56 was de gift werkzame N op maïsland (Tabel 11) waarschijnlijk ook te hoog voor goede grondwaterkwaliteit.

In het project Koeien en Kansen is er voor de melkveebedrijven op zandgrond een positief verband gevonden tussen het werkelijk N-overschot van het bedrijf (= Minas-overschot + atmosferische depositie + biologische N-binding) en de gemiddelde nitraatconcentratie in het grondwater (Oenema & Aarts, 2003). Hierbij werd een verschil tussen jaren vastgesteld, mogelijk als gevolg van verschillen in de hoeveelheid neerslag. Gemiddeld werd bij een werkelijk N-overschot van $140-160 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ een nitraatconcentratie van 50 mg liter^{-1} bereikt. Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat de nitraatconcentratie in het grondwater, behalve van het bedrijfsoverschot, ook afhangt van andere factoren, zoals de grondsoort en grondwaterstand, het graslandgebruik (weiden/maaieren), de methode van mesttoediening en het aandeel maïsland in het bedrijfsareaal. Omdat veel Vel & Vanla-bedrijven op enkele van deze punten sterk verschillen van de Koeien & Kansen-bedrijven, kan niet zonder meer worden aangenomen dat het genoemde kritische N-overschot ook voor de Vel & Vanla-bedrijven geldt. Het werkelijke bedrijfsoverschot op de doorgerkende Vel & Vanla-bedrijven kan afgeleid worden uit het MINAS-overschot in Tabel 8 en zal ongeveer $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ hoger zijn (geschatte atmosferische depositie in het gebied). Er is geen informatie beschikbaar over de biologische N-binding op de Vel & Vanla-bedrijven, maar aangenomen mag worden dat het klaveraandeel en dus de N-binding gering is in deze overwegend zeer oude graslanden. Uit Tabel 8 kan afgeleid worden dat de werkelijke N-overschotten op de bedrijven 10, 22 en 36 onder de kritische grens van de Koeien & Kansen-bedrijven blijven en dat de N-overschotten op de bedrijven 37, 47 en 56 aanzienlijk hoger zijn. Op bedrijf 37 zal dat vanwege de bovengrondse breedwerpige toediening van mest waarschijnlijk niet zo ernstig zijn voor de grondwaterkwaliteit; op de bedrijven 47 en 56 zijn op basis van de werkelijke N-overschotten te hoge nitraatconcentraties in het grondwater te verwachten.

3.2 Ammoniakemissie

De berekeningswijze voor de emissie bij mesttoediening, beweiding en bij eventuele externe mestopslag is grotendeels beschreven in Smits *et al.* (2002). In de berekening van de emissie van deze bronnen is de N-excretie in urine en faeces op basis van

voer(eiwit)opname en melk(eiwit)productie een belangrijk onderdeel. Bij de emissieberekeningen voor deze bronnen is uitgegaan van het gemiddelde van de op de Vel & Vanla bedrijven 'gemeten' N-excreties en de met FARMMIN berekende N-excreties (Tabel 9). Dit omdat bij beide benaderingen van de N-excretie onzekerheden, aannames en beperkingen gelden, zodat het gemiddelde van beide benaderingen als een redelijk uitgangspunt voor de bedrijfsemissieberekeningen beschouwd kan worden.

De stalemissie is berekend als functie van het tankmelkureumgehalte en de temperatuur (Duinkerken *et al.*, 2003), uitgaande van een gemiddelde temperatuur van 9°C in de winter en 18°C in de zomer. Het melkureumgehalte is hoger naarmate de eiwitvoorziening (OEB en DVE) ruimer (boven de behoefte) is en naarmate de netto energievoorziening van de melkkoe krapper (beneden de behoefte) is (Duinkerken *et al.*, 2003). Bij het doorrekenen van de Vel & Vanla-bedrijven konden geen goede verbanden worden vastgesteld tussen het gemeten ruweiwitgehalte in het rantsoen van de melkkoeien en het ureumgehalte in de melk en evenmin tussen de gemeten OEB-opname per koe per dag en het ureumgehalte in de melk. De relaties waren voor de individuele jaren nauwelijks beter dan voor de waarnemingsperiode van 5 jaar als geheel. De relatie tussen rantsoen en melkureumgehalte dient nog verder onderzocht te worden.

De overige gasvormige N-verliezen uit stal en mestopslagen zijn berekend als 1,2 % van de N-excretie (Oenema, *et al.*, 2000).

De weide-emissie is berekend als functie van het eiwitgehalte van het rantsoen en de N-excretie (Bussink, 1996). Bij de bepaling van de stal- en weide-emissie in de zomer is rekening gehouden met het aantal dagen en uren weidegang per bedrijf. Aangenomen is dat jongvee tot 1 jaar geen weidegang heeft en dat jongvee van 1 tot 2 jaar gedurende 185 dagen per jaar weidegang heeft.

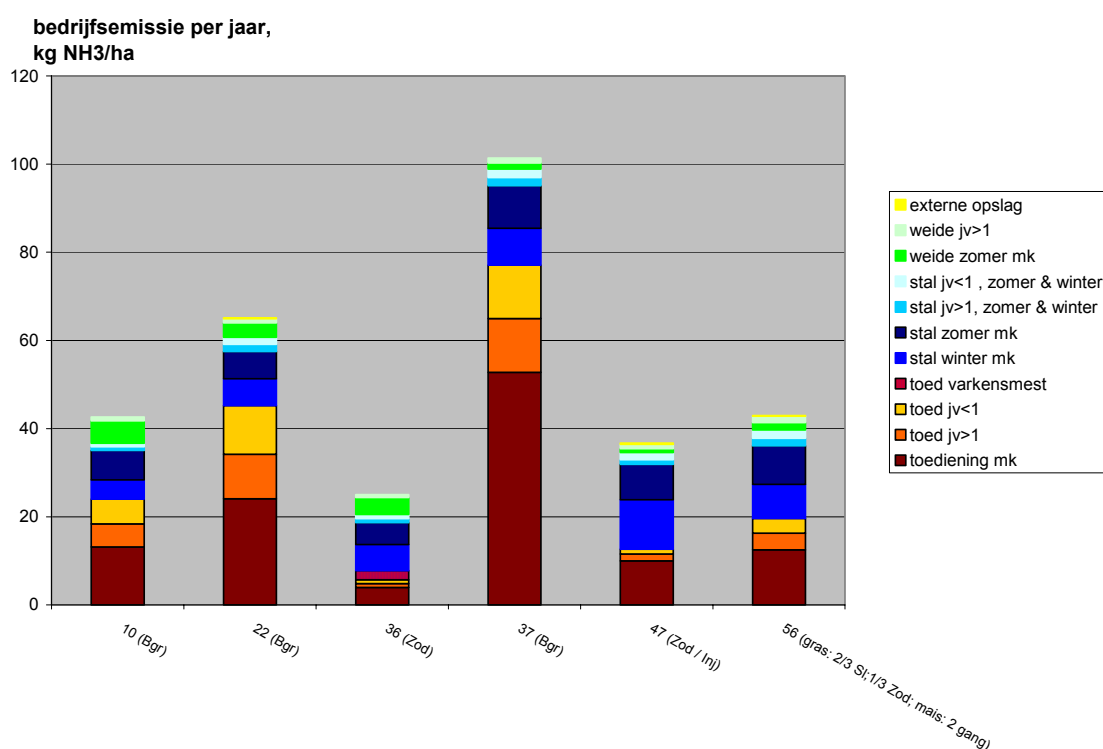
De ammoniakemissie bij toediening is berekend als percentage van de hoeveelheid ammoniumstikstof die met de mest wordt uitgereden. De hoeveelheid ammoniumstikstof in de toegediende mest van melkvee is berekend als 60% van de opgenomen N (voer) minus de in de melk uitgescheiden hoeveelheid N en minus de berekende stalemissie van ammoniakstikstof en overige gasvormige N-verliezen.

Voor jongvee tot en vanaf 1 jaar is door Tamminga *et al.*, (2000) een gemiddelde N-excretie van respectievelijk 111 g d⁻¹ en 227 g d⁻¹ in het jaar 2003 aangegeven. Het gemiddelde van deze waarden en de N-excreties van het jongvee die met FARMMIN per bedrijf berekend zijn, zijn als uitgangspunt in de bedrijfsemissieberekeningen gekozen (Bijlage E). Voor jongvee is uitgegaan van een verhouding tussen ammoniumstikstof en totaalstikstof in de mengmest van 50:100. Rekening is gehouden met het aantal stuks jongvee dat per 10 melkkoeien wordt aangehouden (voornamelijk voor vervanging van de melkveestapel, Tabel 8).

Bij mesttoediening op grasland is uitgegaan van verliezen van 10,2 %, 25,6% en 67% van de totale ammoniakale stikstof bij toepassing van respectievelijk een zodenbemester, een sleepvoetenmachine en bovengrondse breedwerpige toediening (Huijsmans, 1999). Bij toediening op bouwland is uitgegaan van verliezen van de totale ammoniakale stikstof uit de mest van 9% bij injectie; 19,7% bij in een tweede werkgang onderwerken en 67% bij bovengrondse breedwerpige toediening (Huijsmans, 1999).

Resultaten

In figuur 3 is de berekende jaaremissie (kg ha^{-1}) per onderscheiden bron weergegeven, uitgaande van de toegepaste methode van mesttoediening (zoals vermeld in Tabel 7). Voor bedrijf 36 is de emissie van aangevoerde varkensmest ($41 \text{ kg N}_{\text{totaal}} \text{ ha}^{-1}$) in de emissieberekeningen verwerkt. In Tabel 12 is de procentuele bijdrage van mesttoediening, tal en weide aan de totale berekende ammoniakemissie uit dierlijke mest weergegeven.



Figuur 3 Berekende bedrijfsemissie van ammoniak per jaar; per bron, uitgedrukt in kg ha^{-1} . (De staafjes zijn van onder naar boven gestapeld in dezelfde volgorde als in de legenda; bruintinten: mesttoediening; blauwtinten: stalemissies; groentinten: weide-emissies)

Op de bedrijven waar de mest bovengronds breedwerpig wordt toegediend (10, 22 en 37) draagt de mesttoediening meer dan de helft (56 tot 76%) bij aan de totale ammoniakemissie. Op de bedrijven waar de mest emissiearm wordt toegediend (met zodenbemester of bouwlandinjecteur) is de bijdrage ervan aan de bedrijfsemissie minder

dan de helft (32 en 35%). Als de mest emissiearm wordt toegediend is de stal een grotere emissiebron dan de mesttoediening. De totale bedrijfsemissie varieert sterk tussen bedrijven als gevolg van verschillen in bedrijfsgrootte, intensiteit en productiviteit. In Bijlage F wordt de berekende ammoniakemissie per ha, per GVE en per 100 kg geproduceerde melk gegeven.

Tabel 12 Berekende totale bedrijfsemissie uit dierlijke mest en de procentuele bijdrage daaraan van mesttoediening, stal en weidegang (emissies van melkvee en jongvee gesommeerd).

Bedrijfsnr.	10	22	36*	37	47	56
Mesttoedieningstechniek	bgr/bgr	bgr/-	zod/-	bgr/-	zod/inj	s/sl, zod/2gang
Totaal (kg NH ₃ ha ⁻¹)	43	65	25	101	37	43
Mesttoediening (%)	56	69	32	76	35	46
Stal (%)	30	24	50	21	60	47
Weide (%)	14	7	18	3	5	7

*inclusief 41 kg N_{totaal} ha⁻¹ varkensmest.

In bijlage G is de berekende jaaremissie (kg ha⁻¹) voor dezelfde bedrijven als in figuur 3 per onderscheiden bron weergegeven, uitgaande van bovengrondse breedwerpige toediening op alle bedrijven en uitgaande van emissiearme toediening op alle bedrijven. Op deze manier kan de impact van de toedieningsmethode ook per afzonderlijk bedrijf vergeleken worden. In Tabel 13 zijn deze berekende bedrijfsemissies bij bovengrondse breedwerpige toediening en emissiearme mesttoediening weergegeven als percentage van de berekende emissie bij de op de bedrijven werkelijk gehanteerde toedieningsmethode(n).

Tabel 13 Berekende bedrijfsemissies bij bovengrondse breedwerpige en emissiearme toediening als % van de berekende emissie bij de werkelijk toegepaste toedieningsmethode. De reductie in bedrijfsemissie bij volledig emissiearme toediening is cursief weergegeven.

Bedrijfsnr.	10	22	36	37	47	56
Bovengronds: (% toegepaste methode)	100	100	282	100	300	204
Emissiearm: (% toegepaste methode)	52	41	100	36	100	77
<i>Reductie (%)</i>	<i>48</i>	<i>59</i>	<i>0</i>	<i>64</i>	<i>0</i>	<i>23</i>

Op bedrijf 10, 22 en 37 wordt de mest bovengronds toegediend en kan door emissiearme toediening een emissiereductie op bedrijfsniveau van 48 tot 64% bereikt worden. Op bedrijf 36 en 47 wordt alle mest al emissiearm toegediend. Bij bovengrondse toediening zou de bedrijfsemissie bij mest uitrijden op deze bedrijven bijna 3 keer zo hoog worden als bij de toegepaste emissiearme methode. Op bedrijf 56 wordt de mest op grasland

deels met een sleepslangenmachine toegediend en op bouwland in 2 gangen ondergewerkt. Door deze mest ook met de zodenbemester (grasland) en een injecteur (bouwland) toe te dienen kan op dit bedrijf nog een emissiereductie van 23% bereikt worden bij het mest uitrijden.

Het aandeel van de emissie bij het uitrijden van de mest in de totale berekende bedrijfsemissie staat in Tabel 14. Bij bovengronds breedwerpige toediening van alle mest is dit 56 tot 78% van de bedrijfsemissie, terwijl dit bij emissiearme toediening 16 tot 35% is.

Tabel 14 Procentuele bijdrage van mesttoediening aan de totale bedrijfsemissie van ammoniak uit dierlijke mest bij bovengrondse breedwerpige toediening en bij emissiearme toediening van alle mest.

Bedrijfsnr.	10	22	36	37	47	56
Bovengronds	56	69	72	76	78	73
Emissiearm	16	26	32	33	35	30

Door een emissiearme toedienmethode toe te passen wordt een grote emissiereductie op bedrijfsniveau bereikt. Dit geldt zowel voor de extensieve als intensieve bedrijven. Een lage intensiteit en een eiwitarm rantsoen kunnen bijdragen aan een lagere bedrijfsemissie. Bedrijf 22 is ook aangemerkt als extensief met een eiwitarm rantsoen, maar door bovengronds breedwerpig toedienen van de mest is de uiteindelijke bedrijfsemissie per hectare van dit bedrijf relatief hoog ten opzichte de andere bedrijven. Op sommige bedrijven kan de emissie nog wat verder beperkt worden door het voereiwit- en energieaanbod beter af te stemmen op de behoefte (hogere benutting).

De bedrijfsvergelijkende deskstudie laat verschillende aspecten van de N-verliezen zien. Het is lastig om te beoordelen of een bedrijf voldoende maatregelen heeft genomen om een bepaalde milieukwaliteit te garanderen. In het beleid zijn voorschriften geformuleerd om de ammoniakemissie te reduceren en om de mestbalans op bedrijfsniveau te reguleren (gebruiksnormen MINAS). Als naar de ammoniakemissie gekeken wordt (figuur 4), ziet de volgorde van bedrijven er als volgt uit: 36 (beter), 47, 10/56, 22 en 37 (minder). Bij de MINAS overschotten (Tabel 8) is de volgorde: 10 (beter), 36, 22, 47, 56 en 37 (minder). Bij het overschot op de bodembalansen van het grasland (Tabel 10) aanvoer $N_{\text{ totaal}}$ naar de bodem minus ammoniakemissie minus netto N-opbrengst in het gewas) als indicatie van de potentiële nitraatuitspoeling, is de volgorde: 10 (beter), 22, 36, 37, 56 en 47 (minder). Voor de bodembalans op maïsland (Tabel 11) is de volgorde: 10 (beter), 47 en 56 (minder). Hieruit blijkt dat de bedrijven 47 en 56 beter scoren op ammoniakemissie, maar slechter scoren op potentiële nitraatuitspoeling. Bedrijf 37, dat mest bovengronds uitrijdt, scoort daarentegen minder op ammoniakemissie maar is beter wat betreft de belasting voor het grondwater dan de vergelijkbare intensieve bedrijven 47 en 56.

4 Conclusies

De resultaten van de veldmetingen geven aan dat de ammoniakemissie uitgedrukt als % van de NH_4^+ -N gift tussen de twee mestsoorten (N-arm en N-rijk) minimaal verschilde. De ammoniakemissie na bovengronds breedwerpige toediening van N-arme en N-rijke mest was gemiddeld 71% van de NH_4^+ -N gift. Dit betekent dat een hogere NH_4^+ -N gehalte in de mest in absolute zin ook een hogere ammoniakemissie geeft. De invloed op de emissie van andere aspecten van het bedrijfsmanagement (dan een lager NH_4^+ -N gehalte in de mest) wordt met deze proeven niet aangetoond.

Door een emissiearme toedieningsmethode toe te passen wordt een grote emissiereductie op bedrijfsniveau bereikt. Dit geldt zowel voor de extensieve als intensieve bedrijven. Een lage intensiteit (veebezetting) en een eiwitarm rantsoen kan bijdragen aan een lagere bedrijfsemissie. Een extensief bedrijf met een eiwitarm rantsoen, maar met bovengronds breedwerpig toediening van de mest kan uiteindelijk toch nog leiden tot een hoge bedrijfsemissie.

Literatuur

- Berge, H.F.M. ten, J.C.M. Withagen, F.J. de Ruijter, M.J.W. Jansen & H.G. van der Meer, 2000. Nitrogen responses in grass and selected field crops. QUADMOD parameterisation and extensions for STONE application. Plant Research International Report 24. Wageningen UR, Plant Research International, Wageningen, 45 pp. + annexes.
- BGDM, 1997. Besluit van 1 december 1997, houdende regels betreffende het op of in de bodem brengen van dierlijke meststoffen. Staatsblad nr. 601 jaargang 1997.
- Bussink, D.W., 1996. Ammonia volatilization from intensively managed dairy pastures. PhD-thesis, Agricultural University Wageningen, Netherlands, 177 pp.
- Denmead, O.T., 1983. Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field, in: J.R. Freney & J.R. Simpson (eds), Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Pub., Den Haag.
- Duinkerken, G. van, G. André, M.C.J. Smits, G.J. Monteny, K. Blanken & M.J.M. Wagemans, 2003. De relatie tussen voeding en ammoniakemissie vanuit de melkveestal. Praktijkrapport Rundvee 25, Praktijkonderzoek Veehouderij i.s.m. IMAG, Lelystad, 66 pp.
- Evert, F.K. van, H.F.M. ten Berg, H.G. van der Meer, B. Rutgers, A.G.T. Schut & J.J.M.H. Ketelaars, 2003. FARMMIN: Modelling Crop-Livestock Nutrient Flows. In: Annual Meetings Abstract, November 2-6, 2003, Denver, CO.ASA-CSSA-SSSA, Madison.
- Huijsmans, J.F.M., 1999. Mesttoediening. Hoofdstuk 4 in: Steenvoorden, J.H.A.M., W.J. Bruins, M.M. van Eerdt, M.W. Hoogeveen, N. Hoogervorst, J.F.M. Huijsmans, H. Leneman, H.G. van der Meer, G.J. Monteny en F.J. de Ruijter, 1999. Monitoring van nationale ammoniakemissies uit de landbouw, Op weg naar een verbeterde rekenmethodiek. Reeks Milieuplanbureau 6, SC-DLO, Wageningen, p. 65-75.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol & M.M.W.B. Hendriks, 2001. Effect of application technique, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilisation from manure applied to grassland. *Neth. J. of Agric. Sci.* 49, 323-342.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol & G.D. Vermeulen, 2003. Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. *Atmospheric Environment* 37: 3669-3680.
- Macduff, J.H., J.H.A.M. Steenvoorden, D. Scholefield & S.P. Cuttle, 1990. Nitrate leaching losses from grazed grassland. In: N. Gaborcik, V. Krajcovic & M. Zimkova (eds.): Soil – Grassland – Animal Relationships. Proceedings of the 13th General Meeting of the European Grassland Federation, Banska Bystrica, Czechoslovakia, Vol. II, p. 18-24.

- Meer, H.G. van der & P.C. Meeuwissen, 1989. Emissie van stikstof uit landbouwgronden in relatie tot bemesting en bedrijfsvoering. *Landschap* 1989-1: 19-31.
- Oenema, J. & H.F.M. Aarts, 2003. Brengt MINAS ons het water dat we willen? <http://www.koeienkansen.nl/media/nieuwsbrief/2003040305.asp>
- Oenema, O., G.L. Velthof, N. Verdoes, P.W.G. Groot Koerkamp, G.J. Monteny, A. Bannink, H.G. van der Meer & K.W. van der Hoek, 2000. Forfaitaire waarden voor gasvormige stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen. Alterra rapport 107, gewijzigde druk. Wageningen UR, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 185 pp.
- Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), 1997. Handboek Melkveehouderij. PR, Lelystad.
- Schils, R.L.M. & I. Kok, 2003. Effects of cattle manure management on grass yield. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 51: 41-65.
- Schoumans, O.F., J. Roelsma, H.P. Oosterom, P. Groenendijk, J. Wolf, H. van Zeijts, G.J. van den Born, S. van Tol, A.H.W. Beusen, H.F.M. ten Berge, H.G. van der Meer & F.K. van Evert, 2002. Nutriëntenemissie vanuit landbouwgronden naar het grondwater en oppervlaktewater bij varianten van verliesnormen. Modelberekeningen met STONE 2.0. Clusterrapport 4: Deel 1. Alterra-rapport 552, Wageningen UR, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 148 pp.
- Smits, M.C.J., G. van Duinkerken & G.J. Monteny, 2002. Mogelijkheden van ammoniakemissie beperkende voermaatregelen in de melkveehouderij. Wageningen, IMAG-nota P 2002-36.
- Søgaard, H.T., S.G. Sommer, N.J. Hutchings, J.F.M. Huijsmans, D.W. Bussink & F. Nicholson, 2002. Ammonia volatilization from field-applied animal manure-the ALFAM model. *Atmospheric Environment* 36: 3309-3319.
- Tamminga, S., A.W. Jongbloed, M.M. van Eerdt, H.F.M. Aarts, F. Mandersloot, N.J.P. Hoogervorst & H. Westhoek, 2000. De forfaitaire excretie van stikstof door landbouwhuisdieren. Rapport ID-Lelystad no. 00-2040R, Wageningen UR, Instituut voor Dierhouderij en Diergezondheid (ID-Lelystad), Lelystad, 71 pp
- Verhoeven, F.P.M., J.W. Reijs & J.D. van der Ploeg, 2003. Re-balancing soil-plant-animal interactions: towards reduction of nitrogen losses. *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences* 51-1/2: 147-164.

Dankwoord

Door de praktijk worden methoden en systemen voor een integrale oplossing van de nutriëntenproblematiek naar voren gebracht. Het project Vel & Vanla beoogt een optimalisatie van het bedrijfssysteem, zodanig dat het gebruik van stikstof - en daarmee de mogelijke stikstofverliezen - sterk kan worden teruggebracht. De emissie van ammoniak vormt hierbij een onderdeel. Het IMAG (thans Agrotechnology and Food Innovations, A&F) heeft in het voorjaar 2003 ammoniakemissiemetingen na het uitrijden van mest uitgevoerd in opdracht van het project Vel & Vanla met medefinanciering van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. De metingen werden uitgevoerd op het bedrijf van de heer Bloemhoff te Surhuisterveen. Mede door de goede samenwerking verliepen de experimenten volgens planning.

Vervolgens hebben binnen Wageningen UR de instituten A&F en PRI en de leerstoelgroep Rurale Sociologie samengewerkt in een deskstudie naar N-verliezen van een aantal Vel & Vanla bedrijven.

Samenvatting

In onderzoek en praktijk worden mogelijkheden ontwikkeld om de emissie van ammoniak terug te dringen. Het betreft veelal technieken waarmee de emissie vanuit de stal en de mestopslag of bij het toedienen van mest wordt gereduceerd. Het project Vel & Vanla beoogt stikstofverliezen te beperken door aanpassingen van de bedrijfsvoering. De belangrijkste daarvan is het verstrekken van eiwitarme en structuurrijke rantsoenen aan de veestapel, waardoor o.a. verlaging van het stikstofgehalte van de mest wordt nagestreefd. Doelstelling van het voorliggende onderzoek is om – op basis van emissiemetingen en modelberekeningen op bedrijfsniveau – een uitspraak te doen over de hoogte van de ammoniakemissie bij bovengronds breedwerpig toedienen van mest van een melkveebedrijf met een eiwitarm rantsoen (N-arm) ten opzichte van die van een bedrijf met een eiwitrijk rantsoen (N-rijk). Aansluitend op de veldmetingen is in een deskstudie een analyse gemaakt van de effecten van verschillende aspecten van bedrijfsstructuur en -management op de ammoniakemissie. Hiertoe zijn een aantal praktijkbedrijven geselecteerd uit de Vel & Vanla database en onderling vergeleken.

Veldmetingen ammoniakemissie

De metingen van de ammoniakemissie werden uitgevoerd bij bovengrondse toediening van N-arme en N-rijke mest op een perceel grasland. De ammoniakemissie werd gemeten met de micrometeorologische massabalans methode. In totaal zijn 2 meetsessies uitgevoerd in het voorjaar van 2003. In iedere meetsessies werden 4 bemeste velden aangelegd met een beoogde mestgift van $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. De mest werd bovengronds breedwerpig verspreid met praktijkmachines. Het ammoniumgehalte van de N-rijke mest was ongeveer tweemaal zo hoog als dat van de N-arme mest. Het N_{totaal} gehalte was in de N-rijke mest *ca* 1,5 keer hoger dan in de N-arme mest. In de N-arme mest was het aandeel $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in N_{totaal} gemiddeld 46% en in de N-rijke mest gemiddeld 64%. Hierbij moet worden opgemerkt dat op het moment van aanleg van de proeven bleek dat de aangevoerde N-rijke mest bestond uit een bovenste laag mest uit een mestkelder die niet was gemixt. De resultaten van de veldmetingen geven aan dat de ammoniakemissie uitgedrukt als % van de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ gift tussen de twee mestsoorten (N-arm en N-rijk) niet duidelijk verschilde. De ammoniakemissie na bovengronds breedwerpige toediening van N-arme en N-rijke mest was gemiddeld 71% van de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ gift. Dit betekent dat een hogere $\text{NH}_4^+\text{-N}$ gehalte in de mest in absolute zin ook een hogere ammoniakemissie geeft. De invloed op de emissie van andere aspecten van het bedrijfsmanagement (dan de aspecten die een lager $\text{NH}_4^+\text{-N}$ gehalte in de mest veroorzaken) is in deze proeven niet onderzocht.

Bedrijfsemissie en effect van de toedieningsmethode

Behalve door de ammoniakemissie na mesttoediening wordt de bedrijfsemissie bepaald door de stalemissie, de emissie bij weidegang en de emissie uit mest die buiten de stal wordt opgeslagen. Om de impact van verschillende methoden van mest uitrijden (bovengronds versus emissiearm) op de totale bedrijfsemissie te illustreren, is de

bedrijfsemissie berekend van een zestal geselecteerde bedrijven die participeerden in het Vel & Vanla project. De selectie van bedrijven was er op gericht om (A) de range van bedrijven die binnen Vel & Vanla voorkomt ten aanzien van de ammoniakemissie te verkennen en (B) de invloed te kwantificeren die de methode van mest uitrijden daarbij heeft op de totale ammoniakemissie. Voor deze studie zijn bedrijven geselecteerd die de mest bovengronds breedwerpig verspreiden naast bedrijven die een emissiebeperkende methode toepassen en bedrijven met een typisch eiwitarm of een matig eiwitrijk rantsoen en met uitsluitend gras of gras en maïs als ruwvoer. Van deze bedrijven zijn de N-stromen met behulp van het model FARMMIN gekwantificeerd en is de daarbij berekende N-excretie vergeleken met de gemeten N-excretie. Vervolgens zijn de ammoniakemissies uit stal, weide en na toediening gekwantificeerd met behulp van een emissiemodel per bron.

Van de zes geselecteerde bedrijven voldeden de extensieve bedrijven in 2001/2002 aan de MINAS-eindnorm, terwijl twee intensievere bedrijven nog een te groot N-overschot hadden. De verschillen in N-excreties tussen de bedrijven waren kleiner dan verwacht. De berekende N-excreties van de melkkoeien varieerden tussen 114 en 136 kg koe⁻¹ jaar⁻¹. Deze verschillen kunnen voor een belangrijk deel verklaard worden uit de verschillen in melkproductie en dus in voeropname per koe. Grote verschillen traden op tussen de bedrijven in de giften werkzame drijfmest-N op het grasland. Deze verschillen werden veroorzaakt door verschillen in de hoeveelheid mest die op stal wordt geproduceerd en in de methode van mesttoediening. De totale gift N-effectief (werkzame drijfmest-N + kunstmest-N) op het grasland varieerde van gemiddeld 135 tot 293 kg ha⁻¹ jaar⁻¹. Over de nitraatuitspoeling waren geen gegevens van alle bedrijven beschikbaar. Op basis van de beperkte gegevens en de N-overschotten van de bedrijven werd verwacht dat de extensieve bedrijven onder de kritische grens voor de grondwaterkwaliteit bleven.

Op de bedrijven waar de mest bovengronds breedwerpig wordt toegediend draagt de mesttoediening meer dan de helft (56 tot 76%) bij aan de totale ammoniakemissie van het bedrijf. Op de bedrijven waar de mest emissiearm wordt toegediend (met zodenbemester of bouwlandinjecteur) is de bijdrage van mesttoediening aan de bedrijfsemissie minder dan de helft (32 en 35%). De totale bedrijfsemissie varieert sterk tussen bedrijven als gevolg van verschillen in bedrijfsgrootte, intensiteit en management. Op de bedrijven waar de mest bovengronds wordt toegediend kan door emissiearme toediening een emissiereductie van 48 tot 64% bereikt worden. Op de bedrijven waar de mest emissiearm wordt toegediend zou bij overschakeling op bovengrondse toediening de emissie bijna 3 keer zo hoog worden als bij de toegepaste emissiearme methode. Door een emissiearme toedieningsmethode toe te passen wordt een grote reductie van de ammoniakemissie op bedrijfsniveau bereikt. Dit geldt zowel voor de extensieve als intensieve bedrijven. Een lage intensiteit en een eiwitarm rantsoen kunnen bijdragen aan een lagere bedrijfsemissie. Een extensief bedrijf met een eiwitarm rantsoen, maar met bovengronds breedwerpig toediening van de mest kan uiteindelijk toch nog een hoge bedrijfsemissie geven.

Bijlagen

- Bijlage A Foto's veldemissiemetingen
- Bijlage B Gegevens van de 2 bedrijven met N-arme en N-rijke mest
- Bijlage C Weersomstandigheden
- Bijlage D Berekeningswijze N-excreties FARMMIN
- Bijlage E Uitgangspunten berekeningen bedrijfsemisies
- Bijlage F Berekende bedrijfsemisies
- Bijlage G Berekende bedrijfsemisies

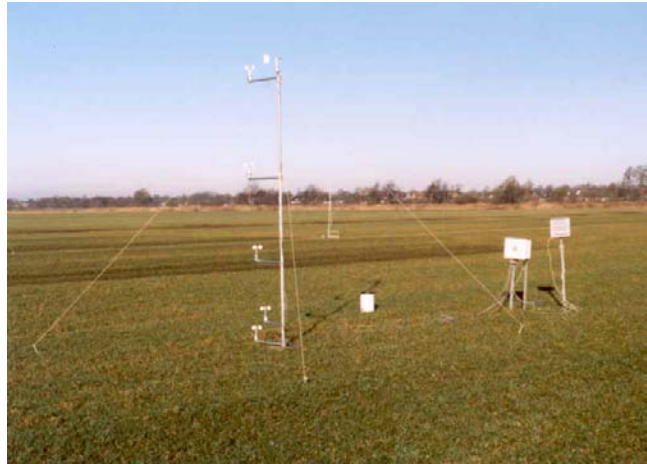
Bijlage A Foto's veldemissiemetingen



Machine 1 (foto boven) en machine 2 (foto onder) waarmee de mest bovengronds werd toegediend.



Mestbemonsteringsapparaat



Weerstation nabij de proefvelden



Centrale meetmast met 7 meetpunten met daarnaast één meetpunt (een gaswasfles met absorptievloeistof met impinger).



Bijlage B Gegevens van de 2 bedrijven met N-arme en N-rijke mest

BEDRIJFSGEGEVENS (momentopname)

	N-arme mest	N-rijke mest
Aantal melkkoeien (aantal)	53	55
Aantal jongvee (aantal)	23	21
Melkproductie (meetmelk kg per koe)	26,4	25,5
Ureumgehalte in de melk (mg per 100 ml)	24	36
N uit kunstmest (kg ha ⁻¹)	149	187
Rantsoen		
Graskuil (kg ds per koe)	13,2	12,7
Krachtvoer (kg ds per koe)	4,5	3,7
Bijproducten (kg ds per koe)	2,1	1,5
Krachtvoer (kg per 100 kg meetmelk)	27,8	22,7
OEB (g per koe per dag)	17	1183

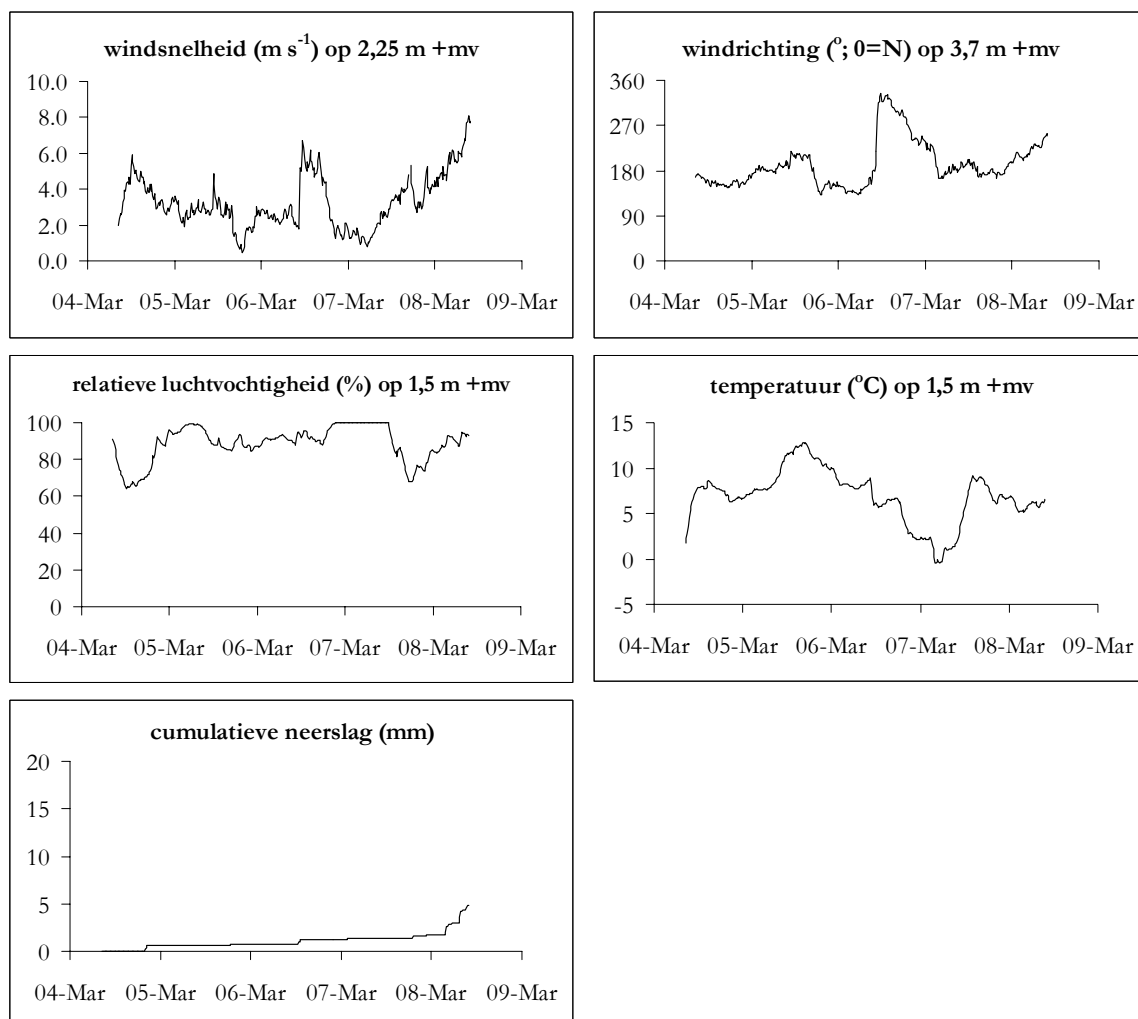
SAMENSTELLING VOER:

KV = krachtvoer, RV = ruwvoer, AV = aardappelvezel, BB = bierborstel en CS = citrus/sojabest

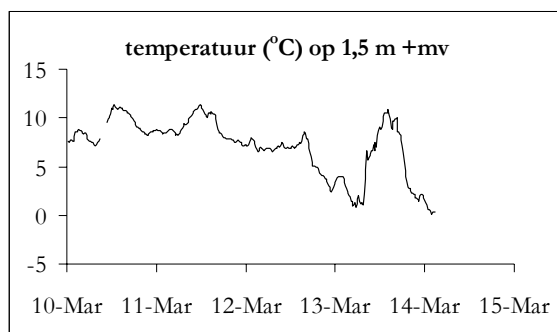
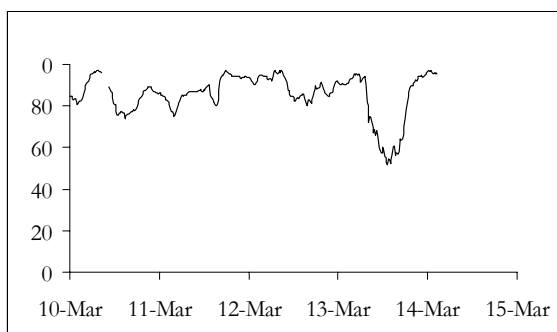
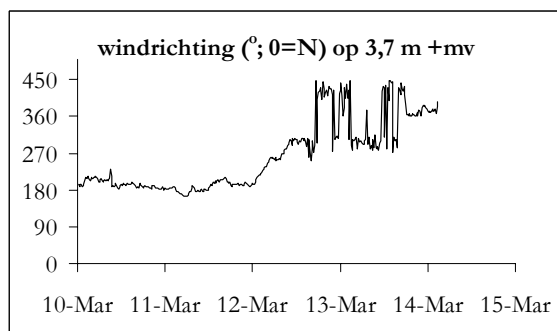
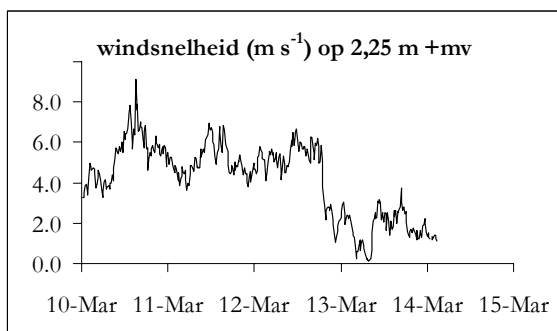
Voeder	N-arme mest				N-rijke mest		
	KV	RV	AV	BB	KV	RV	CS
Drogestof	900	510	165	248	900	414	894
VEM	1091	809	1025	945	1122	864	1101
Ruw eiwit	199	127	73	256	190	202	208
DVE	125	65	74	98	121	71	137
OEB	11	-2	-55	101	11	89	12
SUI	85	115	9	4	117	36	196
Omzetbaar zetmeel	118	0	272	27	189	0	73
Bestendig zetmeel	27	0	91	0	22	0	0
NDF	320	461	366	625	261	491	207
Ruwe celstof	128	225	196	164	94	249	111
FOS	530	553	646	363	0	530	714
SW	0	0	1	1	0	3	0

Bijlage C Weersomstandigheden

Weersomstandigheden week 10 (04-03-2003/08-03-2003)



Weersomstandigheden week 11 (10-03-2003/14-03-2003)



Bijlage D Berekeningswijze N-excreties FARMMIN

De 6 geselecteerde Vel & Vanla-bedrijven zijn met FARMMIN doorgerekend, waarbij de in Tabel 7 van de hoofdtekst gepresenteerde bedrijfsgegevens als modelinvoer zijn gebruikt, met uitzondering van de aan- en afvoer van N in gras en maïs, die dus door het model werden berekend. De berekeningen zijn in eerste instantie uitgevoerd met verschillende rantsoenen voor de melkkoeien, namelijk voldoende VEM en DVE bij gemiddeld 100, 200, 250, 300, 400 of 500 g OEB koe⁻¹ dag⁻¹. Tevens zijn berekeningen uitgevoerd zonder begrenzing van de OEB-opname. Voor het jongvee moet in het model worden voldaan aan de VEM- en DVE-behoefte, maar is geen grens aan de OEB-opname gesteld. FARMMIN berekent bij deze randvoorwaarden de goedkoopste rantsoenen en dus de hoeveelheden (N in) aan te kopen snijmaïs en graskuil en/of het overschot aan deze ruwvoerders. Als het grondgebruik (arealen gras en maïs) en de N-aanvoer in meststoffen, krachtvoer en natte bijproducten worden vastgelegd, zoals in deze berekeningen, kan FARMMIN de verschillen in OEB-opname alleen maar realiseren door vervanging van vers of geconserveerd gras door snijmaïs. Door bij elk OEB-niveau de berekende aanvoer van N in snijmaïs en/of gras te vergelijken met de werkelijke aanvoer, kan het OEB-niveau worden vastgesteld waarbij de berekende en werkelijke hoeveelheden het best overeenstemmen. Tabel D1 geeft de aldus berekende aan- en afvoer van N in snijmaïs en gras (of verandering van de voorraden) die het best overeenstemmen met de in Tabel 8 gegeven werkelijke waarden.

Tabel D1 De met FARMMIN berekende N-aanvoer en -afvoer in maïs en gras (in kg ha⁻¹ jaar⁻¹) op de 6 Vel & Vanla-bedrijven (zie de tekst voor toelichting).

Bedrijfsnr.	10	22	36	37	47	56
<i>N-aanvoer</i>						
Gras	0	0	0	0	21	0
Maïs	0	8	2	71	0	40
<i>N-afvoer</i>						
Gras	38	9	0	37	0	84
Maïs	4	0	0	0	29	0

Uit vergelijking van de Tabel D1 en de MINAS-balansen van de 6 bedrijven (Tabel 8 hoofdtekst) blijkt dat bij de hierboven beschreven berekeningen met FARMMIN voor alle bedrijven varianten konden worden vastgesteld waarbij de berekende aanvoer van N in ruwvoer en het type ruwvoer goed overeen komen met de werkelijke aanvoer. Daarbij hadden, volgens de berekeningen, de bedrijven 10, 37 en 56 een overschot aan gras en bedrijf 47 een overschot aan maïs (Tabel D1). Doordat bij het uitvoeren van deze berekeningen geen gegevens beschikbaar waren over de voorraden krachtvoer en ruwvoer aan het begin en eind van het jaar, is op dit punt geen goede vergelijking mogelijk tussen de berekende en werkelijke gegevens. Daardoor is de oorzaak van de verschillen in 'N-afvoer in ruwvoer' tussen de berekeningen en de werkelijkheid niet vast

te stellen. Het kan zijn dat ze het gevolg zijn van wijziging van de voorraden krachtvoer en ruwvoer in de loop van het betreffende jaar. Het kan ook zijn dat de door het model berekende gras- en maïsopbrengsten hoger zijn dan in werkelijkheid, bijv. door

- 1) overschatting van de hoeveelheid voor de gewassen beschikbare N uit bodem en/of bemesting (overschatting van NLV en/of benutting van toegediende N),
- 2) overschatting van de netto-ruwvoeropbrengsten,
- 3) onderschatting van de voerconsumptie door het vee.

Deze punten worden hierna kort besproken.

- De gebruikte NLV-waarden voor grasland zijn op de gebruikelijke manier door middel van bodemanalyses geschat. De in Tabel 7 van de hoofdttekst gepresenteerde waarden zijn hoog vergeleken met die van veel andere zandgronden. Uit de resultaten van 2 veldproeven in het gebied blijkt dat de werkelijke NLV, d.w.z. de N-opbrengst op de niet met N bemeste objecten, gemiddeld over 3 jaar, bijna 85% van de uit de bodemanalyses geschatte NLV was (Schils en Kok, 2003). In die experimenten waren de verschillen tussen de jaren groot.
- De rekenregels en kengetallen die de benutting van toegediende N op gras- en maïsland beschrijven, zijn ontleend aan een groot aantal velden (Berge *et al.*, 2000). De gebruikte werkingscoëfficiënten van N-totaal in dierlijke mest zijn 0,25 voor oppervlakkige toediening en 0,50 voor toediening met de zodenbemester of een vergelijkbare emissiearme techniek. Dat wil zeggen dat in het jaar van toediening 100 kg N-totaal uit dierlijke mest in werking overeen komt met resp. 25 en 50 kg kunstmest-N. In FARMMIN wordt aangenomen dat 60% van de N-totaal uit runderdrijfmest in het jaar van toediening potentiëel beschikbaar is en dat de overige 40% wordt toegevoegd aan de voorraad organische N in de bodem en daaruit door mineralisatie in latere jaren beschikbaar komt.
- In deze modeltoepassing is uitgegaan van Y_{max}-waarden voor gras en snijmaïs van resp. 11.016 en 12.075 kg drogestof ha⁻¹ jaar⁻¹ (Y_{max} is de bruto-opbrengst bij niet limiterende N-voorziening). Deze Y_{max} voor grasland geldt voor gemengd gebruik: weiden en maaien in een jong stadium. Deze waarden zijn ook gebruikt voor landelijke berekeningen ten behoeve van de Evaluatie van de Meststoffenwet 2002 (Schoumans *et al.*, 2002) en gaven daarbij een goede overeenkomst tussen ruwvoederopbrengst en -consumptie. Omdat op veel Vel & Vanla-bedrijven het gras in een ouder stadium wordt gemaaid dan op gangbare bedrijven, wordt de drogestofopbrengst van het gemaaide grasland met een in te stellen factor vermenigvuldigd, terwijl de N-opbrengst gelijk blijft. Hierdoor is het N-gehalte van het gemaaide gras lager dan op gangbare bedrijven.

- Voedernormen en beweidings- en conserveringsverliezen in FARMMIN zijn ontleend aan het Handboek voor de Rundveehouderij (Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, 1997). In deze berekeningen is de opname van VEM en DVE minimaal gelijk aan de berekende behoefte, dus de VEM- en DVE-dekking => 100%. Mogelijk is dit een kleine onderschatting van de werkelijke opname.

Tabel D2 geeft de met FARMMIN volgens de beschreven procedure berekende OEB-opnamen door de melkkoeien op de 6 bedrijven. FARMMIN verdeelt de opnamen over de zomer- en winterperiode op basis van een minimalisatie van de kosten van voeraankoop. Waarschijnlijk worden in de praktijk ook andere criteria gebruikt, waardoor de werkelijke verdeling verschilt van de berekende.

Tabel D2 De volgens de beschreven procedure met FARMMIN berekende OEB-opnamen door de melkkoeien. Ter vergelijking de gemeten OEB-opnamen in enkele korte waarnemingsperiodes per seizoen (Reijs, pers. med.).

	Bedrijfsnr.	10	22	36	37	47	56
<i>Berekend</i>							
OEB gemiddeld (g koe ⁻¹ dag ⁻¹)		300	300	400	200	500	300
OEB zomer (g koe ⁻¹ dag ⁻¹)		403	294	320	383	327	701
OEB winter (g koe ⁻¹ dag ⁻¹)		149	307	493	52	615	-57
<i>Gemeten</i>							
OEB zomer (g koe ⁻¹ dag ⁻¹)		502	206	195	259	296	365
OEB winter (g koe ⁻¹ dag ⁻¹)		83	256	226	-58	434	156

De berekende OEB-opnamen zijn in de meeste gevallen hoger dan de gemeten opnamen (Tabel D2). Een dergelijk verschil tussen de berekende en gemeten waarden is niet zo verwonderlijk omdat de voeropname en het OEB-gehalte van het opgenomen voer moeilijk nauwkeurig bepaald kunnen worden, zowel in de praktijk als in modelberekeningen. Voor deze studie werden in FARMMIN de OEB-gehalten van mengvoerders en natte bijproducten overgenomen uit de Vel & Vanla-database. Het OEB-gehalte uit vers gras werd berekend uit het N-gehalte op basis van een relatie die is gebaseerd op een groot aantal analyses (Schut, pers. med.). Het OEB-gehalte van kuilgras is berekend uit het N-gehalte met behulp van een relatie die is afgeleid uit de voederwaarde-analyses van ongeveer 30 kuilgrasmonsters van deze 6 bedrijven in de periode 2000-2003. Deze relatie is:

$$y = 75x - 157 \quad (R^2 = 0,9385)$$

waarin y het OEB-gehalte is, in g per kg drogestof, en x het N-gehalte, in % van de drogestof. Vergelijking van deze relatie met enkele waarden in het Handboek voor de Rundveehouderij (Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, 1997) laat zien dat

de Vel & Vanla-monsters bij een bepaald N-gehalte een hoger OEB-gehalte hebben. Het is niet duidelijk waardoor dit wordt veroorzaakt, maar het illustreert nog eens dat aan het betrekkelijk kleine verschil tussen de berekende en werkelijke OEB-opnamen (Tabel D2) niet te veel waarde moet worden gehecht.

De N-excreties die horen bij de in Tabel D2 gegeven OEB-opnamen, zijn weergegeven in Tabel 9 van de hoofdtekst. De N-excreties per ha en de verdeling daarvan over de stal en de weide zijn weergegeven in Tabel D3. Uit deze tabel blijkt dat er tussen de 6 bedrijven grote verschillen zijn in N-excretie per ha en in de verdeling daarvan over de stal en de weide. Op de bedrijven 10, 22 en 36 wordt ongeveer de helft van de uitgescheiden N op stal opgevangen; op de bedrijven 37, 47 en 56 is dat veel meer. Op stal opgevangen mest-N kan een belangrijke bijdrage leveren aan de bemesting van gras en snijmaïs (Tabellen 10 en 11 van de hoofdtekst). Echter van deze N gaat een groter deel als ammoniak verloren dan van de in de weide uitgescheiden N. Dit geldt zelfs als de mest emissiearm wordt toegediend en dient in aanmerking te worden genomen bij de verklaring van verschillen in ammoniakemissie tussen bedrijven (figuur 4 van de hoofdtekst).

Tabel D3 Berekende N-excreties per ha bedrijfsoppervlak.

Bedrijfsnr.	10	22	36	37	47	56
N-excretie stal (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	90	146	124	281	268	227
N-excretie weide (kg ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	98	130	108	85	49	79
Totaal	188	276	232	366	317	306

Bijlage E Uitgangspunten berekeningen bedrijfsemissies melkvee zomer

Per bedrijf, de gemiddelde voeropname en melkproductie per melkkoel in zomer en winter (ontleend aan de Vel & Vanla database). Tevens zijn de 'gemeten' N-excretie (N-opname minus melkeiwit-N productie) en de N-excretie die in de berekeningen van de ammoniakemissies is aangenomen, weergegeven. In de berekeningen van de ammoniakemissie is een N-excretie aangenomen (Nexcr in emissie) die het gemiddelde is van de 'gemeten' N-excretie en de met FARMMIN berekende N-excretie. Bedrijven zijn aangeduid met een nummer.

Seizoen	parameter	eenheid	10	22	36	37	47	56
			Bgr / Bgr	Bgr / -	Zod / -	Bgr / -	Zod / Inj	SlsI + Zod / 2 gang
Zomer	N-opname 'gemeten' ¹	g/d	542	425	496	490	504	536
Zomer	N-opname FARMMIN ²	g/d	483	447	479	520	499	560
Zomer	N-opname in emissie ³	g/d	513	436	488	505	502	548
Zomer	melkproductie	kg/d	23,3	19,5	22,7	24,1	26,1	26,4
Zomer	melkeiwit	%	3,47	3,51	3,39	3,37	3,29	3,38
Zomer	tankmelkureum	mg/100g	35	25	21	27	25	28
Zomer	OEB	g/d	502	206	195	259	296	365
Zomer	voereiwitgehalte	g N/kg DS	30.0	25.8	27.0	25.5	25.8	27.3
Zomer	weidegang	dagen	217	198	196	163	146	172
Zomer	weidegang	uren	20	20	20	8	4	8
Zomer	Nexcr 'gemeten'	g/d	415	318	375	363	369	396
Zomer	Nexcr FARMMIN	g/d	372	359	375	400	375	439
Zomer	Nexcr in emissie	g/d	394	338	375	381	372	418

¹ Op basis van Vel & Vanla database

² Op basis van FARMMIN berekeningen

³ Gemiddelde van 'gemeten' en FARMMIN

Uitgangspunten berekeningen bedrijfsemissies melkvee winter

Seizoen	parameter	eenheid	10	22	36	37	47	56
			Bgr / Bgr	Bgr / -	Zod / -	Bgr / -	Zod / Inj	Slsl + Zod / 2 gang
Winter	N-opname 'gemeten' ¹	g/d	427	438	480	467	523	482
Winter	N-opname FARMMIN ²	g/d	355	348	396	406	493	369
Winter	N-opname in emissie ³	g/d	391	393	438	437	508	426
Winter	melkproductie	kg/d	21,4	18,5	22,7	26,5	26,6	27
Winter	melkeiwit	%	3,67	3,65	3,47	3,56	3,4	3,49
Winter	tankmelkureum	mg/100g	22	19	20	18	26	22
Winter	OEB	g/d	83	256	226	-58	434	156
Winter	Nexcr 'gemeten'	g/d	304	332	356	319	381	334
Winter	Nexcr FARMMIN	g/d	244	260	292	286	369	248
Winter	Nexcr in emissie	g/d	274	296	324	302	291	291

¹ Op basis van Vel & Vanla database

² Op basis van FARMMIN berekeningen

³ Gemiddelde van 'gemeten' en FARMMIN

Uitgangspunten berekeningen bedrijfsemissies jongvee

Per bedrijf, de jaargemiddelde N-excreties van jongvee tot 1 jaar die in de berekeningen van de ammoniakemissies zijn aangenomen (Nexcr in emissie). Deze aangenomen waarden zijn gemiddelden van de door de commissie Tamminga (2000) geïndiceerde N-excreties (Nexcr Tamminga) en de met FARMMIN berekende N-excreties (Nexcr FARMMIN). Bedrijven zijn aangeduid met een nummer.

parameter	eenheid	10	22	36	37	47	56
		Bgr / Bgr	Bgr / -	Zod / -	Bgr / -	Zod / Inj	SlsI + Zod / 2 gang
N-excretie Tamminga	g d ⁻¹	111	111	111	111	111	111
N-excretie FARMMIN	g d ⁻¹	93	99	95	107	92	112
N-excretie in emissie	g d ⁻¹	102	105	103	109	102	112

Per bedrijf, de jaargemiddelde N-excreties van jongvee vanaf 1 jaar die in de berekeningen van de ammoniakemissies zijn aangenomen. Bedrijven zijn aangeduid met een nummer.

parameter	eenheid	10	22	36	37	47	56
		Bgr / Bgr	Bgr / -	Zod / -	Bgr / -	Zod / Inj	SlsI + Zod / 2 gang
N-excretie Tamminga	g d ⁻¹	227	227	227	227	227	227
N-excretie FARMMIN	g d ⁻¹	205	209	201	220	240	211
N-excretie in emissie	g d ⁻¹	216	218	214	224	234	219

Bijlage F Berekende bedrijfsemisies

In Tabel F1 is de berekende ammoniakemissie (kg NH₃ jaar⁻¹) uitgedrukt als bedrijfstotaal, per ha, per GVE en per 100 kg geproduceerde melk weergegeven.

Tabel F1 Berekende emissie uit dierlijke mest, kg NH₃ jaar^{-1*} uitgedrukt als bedrijfstotaal, per ha, per GVE en per 100 kg geproduceerde melk. Tevens cursief de veebezetting (GVE ha⁻¹).

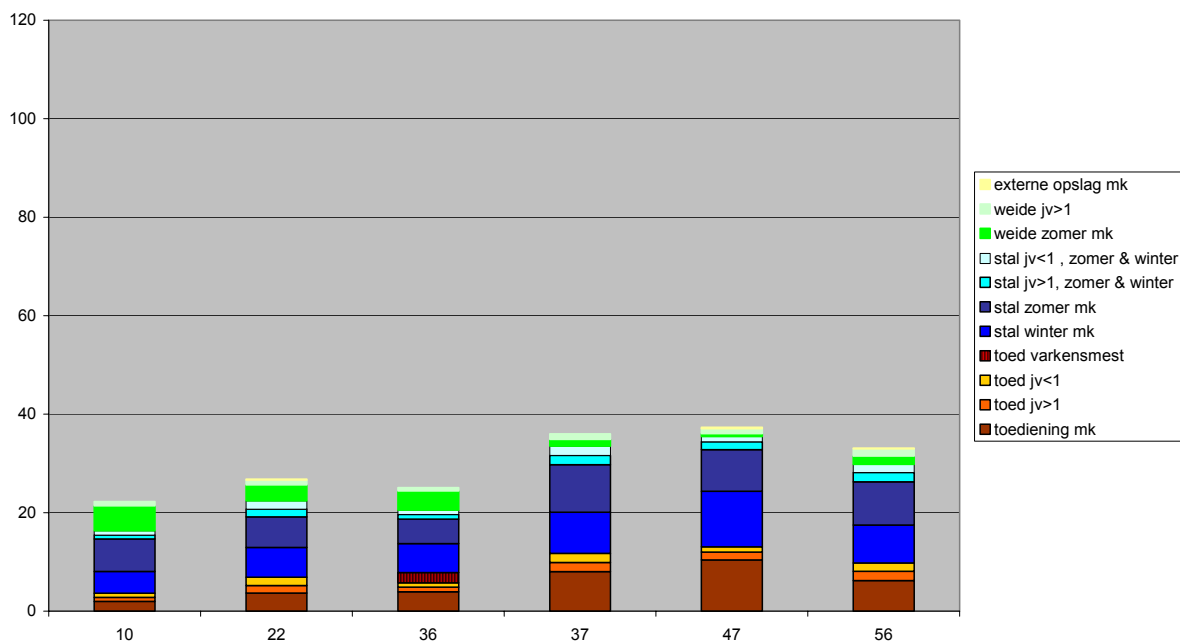
Bedrijfsnr.	10	22	36	37	47	56
Mesttoedieningstechniek	Bgr/Bgr	Bgr/-	Zod/-	Bgr/-	Zod/Inj	Slsl, Zod/2gang
<i>Veebezetting</i>	<i>1,5</i>	<i>2,1</i>	<i>1,8</i>	<i>2,5</i>	<i>2,2</i>	<i>2,2</i>
bedrijfsemisatie totaal	1.653	4.546	966	4.247	2.241	2.483
bedrijfsemisatie per ha	43	65	25	101	37	43
bedrijfsemisatie per GVE	29	31	14	41	17	20
bedrijfsemisatie per 100 kg melk	0,49	0,74	0,26	0,65	0,24	0,35

*de emissie is uitgedrukt in kg ammoniak. Door vermenigvuldiging met ¹⁴/₁₇ wordt de emissie uitgedrukt in kg stikstof: 1 kg NH₃ = ¹⁴/₁₇ kg N.

Bijlage G Berekende bedrijfsemisies per bron

Per onderscheidde bron, de berekende bedrijfsemisatie van ammoniak per jaar; uitgedrukt in kg ha^{-1} , uitgaande van emissiearme (bovenste figuur) en bovengronds breedwerpige (onderste figuur) mesttoediening op alle bedrijven. (De staafjes zijn van onder naar boven gestapeld in dezelfde volgorde als in de legenda; bruintinten: mesttoediening; blauwtinten: stalemissies; groentinten: weide-emisies).

bedrijfsemisatie per jaar,
kg NH_3/ha



bedrijfsemisatie per jaar,
kg NH_3/ha

