



PraktijkRapport Rundvee 25

# Relatie tussen voeding en ammoniakemissie vanuit de melkveestal



Maart 2003





## **Colofon**

### **Uitgever**

Praktijkonderzoek Veehouderij  
Postbus 2176, 8203 AD Lelystad  
Telefoon 0320 - 293 211  
Fax 0320 - 241 584  
E-mail [info@pv.agro.nl](mailto:info@pv.agro.nl)  
Internet <http://www.pv.wur.nl>

### **Redactie en fotografie**

Praktijkonderzoek Veehouderij

### **© Praktijkonderzoek Veehouderij**

Het is verboden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever deze uitgave of delen van deze uitgave te kopiëren, te vermenigvuldigen, digitaal om te zetten of op een andere wijze beschikbaar te stellen.

### **Aansprakelijkheid**

Het Praktijkonderzoek Veehouderij aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

### **Bestellen**

ISSN 1570 8616  
Eerste druk 2003/oplage 200  
Prijs € 17,50

Losse nummers zijn schriftelijk, telefonisch, per E-mail of via de website te bestellen bij de uitgever.

## **Referaat**

ISSN 1570 8616

Duinkerken, G. van (Praktijkonderzoek Veehouderij)  
Relatie tussen voeding en ammoniakemissie vanuit de melkveestal (2003)

PV-PraktijkRapport Rundvee 25

66 pagina's, 21 figuren, 29 tabellen

De ammoniakemissie vanuit natuurlijk geventileerde melkveestallen is via voermaatregelen sterk te beïnvloeden. Met name door verlaging van de OEB van het rantsoen is een forse emissiereductie haalbaar. Het ureumgehalte in tankmelk is een goede graadmeter voor emissiereductie

### *Trefwoorden*

Ammoniakemissie, melkureum, melkveestal, voeding



PraktijkRapport Rundvee 25

# Relatie tussen voeding en ammoniakemissie vanuit de melkveestal

## Relation between diet and ammonia emission from the dairy cow barn

G. van Duinkerken (PV)  
G. André (PV)  
M.C.J. Smits (IMAG)  
G.J. Monteny (IMAG)  
K. Blanken (PV)  
M.J.M. Wagemans (IMAG)  
L.B.J. Šebek (PV)

Maart 2003

## Voorwoord

Stikstofuitstoot naar het milieu in de vorm van ammoniak is een belangrijk thema in de mestwetgeving. De overheid wil deze uitstoot van ammoniak verder terugdringen, ook in de melkveehouderij. In eerste instantie is daarbij sterk gekeken naar oplossingen van bouwtechnische aard. In een Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) voor Huisvesting is opgenomen aan welke voorwaarden (vooral bouwtechnische aspecten) een stal moet voldoen ten aanzien van ammoniakemissie.

Beperken van de ammoniakemissie kan echter ook via het voedingsspoor. Wat er aan stikstof niet in de koe komt, kan vervolgens ook niet bijdragen aan ammoniakuitstoot. In discussies tussen overheid en agrarisch bedrijfsleven is de vraag aan de orde geweest of wellicht ook voedingsaspecten in de AMvB Huisvesting betrokken konden worden. Belangrijk voordeel hiervan zou zijn dat met veel minder kosten (investeringen) een reductie van de ammoniakemissie gerealiseerd zou kunnen worden. Voor het beantwoorden van deze vraag ontbrak echter de kennis over de exacte relatie tussen voeding en ammoniakemissie op een melkveebedrijf.

In 1998 zijn Praktijkonderzoek Veehouderij (PV) en het Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG) gestart met het project "Voeding en ammoniak" om de relatie tussen voeding van melkvee en de ammoniakemissie vanuit de stal in kaart te brengen en te kwantificeren. Het onderzoek is gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en door het Productschap Zuivel.

In een klankbordgroep werden voortgang en resultaten van het project regelmatig bediscussieerd. Deze klankbordgroep bestond, naast onderzoekers van PV en IMAG, uit:

- Albert Meijering                      Praktijkonderzoek Veehouderij (voorzitter)
- Machiel Blok                          Productschap Diervoeder
- Pim Bruins                              Expertisecentrum LNV
- Wim Scherphof                        Expertisecentrum LNV
- Ad van Vuuren                        ID TNO Diervoeding
- Paul Witlox                              Productschap Zuivel

De auteurs en ondergetekenden bedanken de leden van de klankbordgroep voor hun constructieve inbreng. Tevens is een woord van dank verschuldigd aan Gerard Verkade en Gerard de Bree van het "Voer- en emissiebedrijf" die een grote inbreng hebben gehad in de uitvoering van de experimenten, en aan Pieter Vereijken (WUR) die in de eindfase waardevolle statistische ondersteuning heeft verleend.

Een beter inzicht in de relatie tussen voeding, mineralenbenutting en ammoniakemissie maakt het voor de melkveehouderij mogelijk efficiënte maatregelen te kiezen voor het terugdringen van de ammoniakemissie. De resultaten van deze studie dragen daarmee bij aan een duurzamere melkveehouderij.

*Frits Mandersloot, hoofd afdeling Rundvee, Schapen, Paarden en Geiten, PV*  
*Cees van 't Klooster, hoofd afdeling Technologie Dier en Milieu, IMAG*

## Samenvatting

Het terugdringen van de uitstoot van ammoniak door de melkveehouderij is een belangrijk agendapunt voor de overheid en de melkveehouderijsector. Door Praktijkonderzoek Veehouderij (PV) en het Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG) is in de periode 1998 tot en met 2002 onderzoek verricht aan het effect van voedingsmaatregelen op de ammoniakemissie vanuit de melkveestal. Tevens is de bruikbaarheid van het ureumgehalte in tankmelk als graadmeter voor emissiereductie onderzocht.

Experimenteel onderzoek is uitgevoerd met een veestapel van 55 tot 57 Holstein-Friesian melkkoeien in een natuurlijk geventileerde ligboxenstal met roostervloer. De proef was opgezet als factoriële 3<sup>2</sup>-wisselproef in drie herhalingen. Een experimentele eenheid bestond uit een periode van drie weken. Uiteindelijk zijn gedurende ruim twee jaar metingen uitgevoerd. De dieren zijn tijdens deze meetperiode steeds gevoerd met geconserveerd ruwvoer (plus aanvullend krachtvoer) en zijn permanent in de stal gehouden. De onderzochte voedingsfactoren waren:

1. de Onbestendig Eiwitbalans (OEB) van het rantsoen, met als niveaus 0, 500 en 1000 g/dier/dag;
2. het aandeel snijmaïs in de ruwvoercomponent van het rantsoen van de melkgevende koeien, met als niveaus 0, 50 en 100% van de droge stof van het ruwvoer.

Bij 0 en 50% snijmaïs bestond het overige ruwvoer uit graskuil. Bij de rantsoensamenstelling werd telkens gestreefd naar normvoeding voor netto energie (VEM) en Darm Verteerbaar Eiwit (DVE).

Bij de uitvoering zijn enkele behandelingen extra herhaald, namelijk wanneer er sprake was van veel ontbrekende waarnemingen bij de emissiemetingen. De volgorde van behandelingen werd aselekt bepaald binnen elke herhaling. De factoriële instellingen zijn bij grote overgangen stapsgewijs gerealiseerd.

Bij de statistische analyse van de uitkomsten zijn een aantal zaken gemodelleerd met behulp van dynamische regressieanalyse. De eerste reeks modellen betreft de ammoniakemissie. Eerst is een leeg model aangepast, vervolgens zijn stapsgewijs termen toegevoegd tot een volledig model. Daarna zijn niet significante termen stapsgewijs weggelaten totdat een uiteindelijk model werd verkregen. Ten slotte is nagegaan of de termen OEB en aandeel snijmaïs konden worden ingewisseld door het ureumgehalte van de tankmelk. Aanvullend is het ureumgehalte van de tankmelk gemodelleerd, verklaard vanuit OEB en aandeel snijmaïs.

De ammoniakemissie vanuit de melkveestal bleek toe te nemen naarmate de OEB hoger was. Daarnaast bleek de ammoniakemissie, bij een gegeven OEB, positief gerelateerd aan het snijmaïsaandeel. Dat wil zeggen dat de emissie toenam naarmate het snijmaïsaandeel toenam. Deze relatie was niet causaal, maar bleek samen te hangen met een strengeling van het snijmaïsaandeel met de DVE-opname.

Het ureumgehalte in tankmelk en de temperatuur bleken sterk gecorreleerd met de ammoniakemissie vanuit de stal; het percentage door het geselecteerde model verklaarde variantie bedraagt 76% ( $r^2=0,76$ ).

De ammoniakemissie vanuit natuurlijk geventileerde melkveestallen is via voermaatregelen sterk te beïnvloeden. Met name door verlaging van de OEB van het rantsoen is een forse emissiereductie haalbaar. Het ureumgehalte in tankmelk is een goede graadmeter voor emissiereductie.

## Summary

As the Dutch government and dairy farming sector have given priority to reducing ammonia emission, from 1998 to 2002 the Research Institute for Animal Husbandry (PV) and the Institute of Agricultural and Environmental Engineering (IMAG) studied the effect of diet on the ammonia emission from dairy cow barns. In addition the usefulness of milk urea content as an indicator of emission reduction was studied.

An experiment was carried out with a herd of 55 to 57 Holstein-Friesian dairy cows housed in a naturally ventilated barn with cubicles and a slatted floor. The experiment was designed as a factorial  $3^2$  trial and repeated three times. Each experimental unit lasted three weeks. The measurements were made for over two years. During this period the cows were confined to the barn (no grazing) and were fed with ensiled forages and additional concentrates. The default forage was grass silage. The nutritional experimental factors were:

1. Rumen Degradable Protein Balance (according to Dutch standards: OEB) of the ration for lactating cows. Three levels were given: 0, 500 and 1000 g/cow/day,
2. Maize silage in the forage ration for lactating cows. Three proportions of maize silage (as % of the dry matter content) in were given in the forage: 0, 50 and 100%.

The rations were composed to meet the requirements for net energy for lactation (according to Dutch standards: VEM) and ileal digestible protein (according to Dutch standards: DVE).

Because the emission measurement equipment malfunctioned, some of the treatments had to be repeated. Within each repetition the sequence of treatments was random. When the transitions were large, the factorial adjustments were made gradually, sometimes taking as many as five days.

Several series of dynamic regression models were fitted. One of these models explained emission of ammonia by the nutritional factors and the temperature; another model explained ammonia emission by the bulk milk urea content and the temperature. In addition, a model was derived to explain milk urea content from nutritional factors.

The ammonia emission from the barn increased when levels of Rumen Degradable Protein Balance (OEB) increased. Furthermore, at a given level of OEB, the emission of ammonia correlated positively with the maize silage content in the forage ration. However, this correlation was not causal, but was the result of interaction between maize silage content and intake of ileal digestible protein.

The bulk milk urea content and the temperature correlated strongly with the ammonia emission from the barn; the selected model accounted for 76% of the variance ( $r^2=0.76$ ).

It is concluded that the emission of ammonia from naturally ventilated dairy cow barns is influenced by diet. The emission can be reduced by reducing the rumen degradable protein balance of the ration. The milk urea content is a good indicator of emission reduction.

## Abstract

### *Relation between diet and ammonia emission from the dairy cow barn*

Ammonia emissions from naturally ventilated dairy cow barns can be greatly influenced via the feeding strategy, in particular by reducing the Rumen Degradable Protein Balance (OEB). The bulk milk urea content is a good indicator of emission reduction.

Keywords: ammonia emission, milk urea, dairy cow barn, nutrition

# Inhoudsopgave

## Voorwoord

## Samenvatting

## Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literatuuroverzicht voer, urine, mest en (melk)ureum</b> .....	<b>3</b>
2.1	Relatie tussen voer, urine- en mestparameters en ammoniakemissie .....	3
2.1.1	Ureumconcentratie in urine en OEB in relatie tot ammoniakemissie.....	3
2.1.2	Urineproductie en emissie .....	3
2.2	Relatie tussen voer en melkureum .....	4
2.2.1	Ureumstromen in de melkkoe .....	4
2.2.2	Melkureumgehalte als indicator .....	6
2.3	Effect van niet-voedingsfactoren op het melkureumgehalte .....	8
<b>3</b>	<b>Materiaal en methoden</b> .....	<b>9</b>
3.1	Proefopzet .....	9
3.2	Stal .....	11
3.3	Veestapel.....	11
3.4	Rantsoen.....	11
3.4.1	Rantsoen melkgevende koeien .....	12
3.4.2	Rantsoen droogstaande koeien .....	12
3.4.3	Bemonstering voer.....	12
3.5	Melk .....	13
3.6	Urine.....	13
3.7	Mest .....	14
3.8	Waterverbruik .....	15
3.9	Lichaamsgewicht .....	15
3.10	Emissiemeting .....	15
3.11	Statistische analyse .....	15
3.11.1	Experimentele factoren.....	15
3.11.2	Dynamische regressieanalyse .....	16
<b>4</b>	<b>Resultaten</b> .....	<b>18</b>
4.1	Veestapel, aantal en opbouw.....	18
4.2	Voeding melkgevende koeien .....	19
4.3	Voeding droogstaande koeien .....	21
4.4	Ureum tankmelk.....	23
4.4.1	Verloop gedurende de proef .....	23
4.4.2	Model voor het ureumgehalte in tankmelk .....	23
4.5	Melkproductie.....	25
4.6	Urinesamenstelling en -productie .....	27
4.6.1	Urinesamenstelling.....	27
4.6.2	Urineproductie .....	27
4.7	Mestsamenstelling en -productie.....	28
4.7.1	Toplaag mestkelder .....	28

4.7.2	Mengmestsamenstelling .....	29
4.7.3	Mestproductie .....	29
4.8	Waterverbruik .....	29
4.9	Lichaamsgewicht .....	30
<b>5</b>	<b>Resultaten ammoniakemissie.....</b>	<b>32</b>
5.1	Ammoniakemissie metingen.....	32
5.2	Model voor ammoniakemissie op basis van voedingsparameters en temperatuur .....	33
5.2.1	Databeschrijving .....	33
5.2.2	Stapsgewijze modellering .....	34
5.2.3	Strengeling van snijmaïsaandeel met DVE-, Na- en K-opname .....	37
5.3	Model ammoniakemissie op basis van ureumgehalte in tankmelk en temperatuur .....	38
5.4	Effect van mest mixen op de ammoniakemissie .....	39
<b>6</b>	<b>Discussie.....</b>	<b>41</b>
6.1	Melkureum als graadmeter voor lacterend melkvee.....	41
6.2	Melkproductieniveau in relatie tot stikstofexcretie en ammoniakemissie .....	41
6.3	Urineproductie in relatie tot ammoniakemissie .....	41
6.4	Ammoniakemissie in relatie tot de stikstofbalans .....	42
6.5	Strengeling van snijmaïsaandeel met DVE-niveau.....	44
6.6	Effect van overige voedingsfactoren op ammoniakemissie.....	44
<b>7</b>	<b>Toepassing in de praktijk .....</b>	<b>45</b>
7.1	Melkureumgehalte in Nederland.....	45
7.2	Melkureumgehalte Koeien & Kansen - bedrijven.....	47
7.3	Ureumproefbedrijven Overijssel .....	48
7.4	Beïnvloeding van het melkureumgehalte via management .....	48
7.4.1	Verlaging van de OEB.....	48
7.4.2	Normvoeding voor DVE .....	48
7.4.3	Voldoende energievoorziening melkvee.....	49
7.4.4	Scherpe stikstofbemesting op grasland .....	49
7.4.5	Beweiding beperken.....	49
7.4.6	Gras oogsten in later groeistadium.....	49
7.4.7	Intensief management van gras/klaver.....	49
7.5	Toepasbaarheid en effectiviteit van maatregelen.....	50
7.6	Toekomstige tendens.....	51
7.7	Effect van voermaatregelen op overige milieu-aspecten.....	53
7.8	Controle en handhaafbaarheid.....	53
<b>8</b>	<b>Conclusies.....</b>	<b>54</b>
<b>Literatuur.....</b>		<b>55</b>
Referenties.....		55
Verwante publicaties .....		57
<b>Bijlagen .....</b>		<b>58</b>



## 1 Inleiding

Diverse onderzoeksinstellingen hebben in opdracht van de overheid en de melkveehouderijsector in de jaren negentig gezocht naar mogelijkheden om de uitstoot van ammoniak vanuit melkveestallen terug te dringen. In eerste instantie is vooral aandacht gegeven aan technische aanpassingen aan de stal, ook wel genoemd "stalmaatregelen", zoals reductie van de kelderemissie door aanpassing van het vloersysteem. Later zijn ook de mogelijkheden van voedingsmaatregelen onderzocht. Het werkingsprincipe van voedingsmaatregelen (beïnvloeding van het ureumgehalte van de urine) is echter anders dan bij stalmaatregelen. Voedingsmaatregelen grijpen steeds in aan het begin van de keten van processen (bij de bron), terwijl stalmaatregelen in tussengelegen processen ingrijpen. Door de samenstelling van de mest en urine via emissiebeperkende voermaatregelen te beïnvloeden, zal ook 'na de stal', dus bij opslag buiten de stal en bij aanwending, een lagere ammoniakemissie bereikt worden. Bij technische stalmaatregelen is dit niet het geval<sup>1</sup>: de ammonium wordt door stalmaatregelen in de stal zoveel mogelijk in de mest gehouden, maar kan daarna alsnog ontsnappen bij opslag buiten de stal en bij toediening. De mate waarin dan alsnog ammoniak vervluchtigt hangt uiteraard af van de effectiviteit van de emissiebeperkende opslag- en toedieningsmethoden, maar ook van het ammoniumgehalte in de mest. De stand van zaken in het onderzoek naar voedingsmaatregelen en ammoniakemissie is in 1996 besproken op een studiemiddag (Van der Aar et al., 1996). Bij die gelegenheid zijn door deelnemende vertegenwoordigers van landelijke, regionale en gemeentelijke overheden de volgende prioriteiten voor rundvee aangegeven:

- 1) voedingsmaatregelen moeten op eenvoudige wijze controleerbaar en handhaafbaar zijn,
- 2) vervolgonderzoek moet zoveel mogelijk plaatsvinden onder praktische omstandigheden, dus bij melkvee in een natuurlijk geventileerde stal (als daartoe een goed meetsysteem beschikbaar is) met een gangbare roostervloer.

Door Wever et al. (1997) zijn kort na de bewuste studiemiddag de mogelijkheden verkend om voedingsmaatregelen te implementeren in de AMvB-Huisvesting, gezien tegen de achtergronden van de toen beschikbare onderzoekresultaten. De AMvB zou doelvoorschriften maar geen middelvoorschriften bevatten. Daarbij zouden naast stalaanpassingen (fysiek) ook voedingsmaatregelen mogelijk zijn om aan de normen te voldoen, mits controle daarvan mogelijk zou zijn. Het controle-instrument zou zodanig moeten zijn dat de veehouder de benodigde informatie aan de handhaver van de Wet Milieubeheer (d.w.z. een milieuambtenaar van de gemeente) kan verstrekken. Bij de controle en handhaving onderscheidt rundvee zich van varkens en pluimvee: rundvee wordt voornamelijk gevoerd met ruwvoer van het eigen bedrijf, terwijl varkens en pluimvee overwegend aangekocht mengvoer of enkelvoudige voedermiddelen opnemen. Bovendien leek voor rundvee een goede schatting van de eiwitopname in de weideperiode niet uitvoerbaar, ervan uitgaande dat dan ieder weideperceel bemonsterd en geanalyseerd zou moeten worden. Volgens de toenmalige projectgroep "AMvB-Huisvesting" (Wever et al., 1997) zouden bij melkkoeien zowel bepaling van het ureumgehalte in de tankmelk als verstrekking van informatie over de bedrijfsvoering en de opname van eiwit (aan- en afvoer van stikstof op het bedrijf en kwantitatieve analyse van alle voedermiddelen) mogelijkheden bieden voor controle van voedingsmaatregelen. Destijds was nog onvoldoende bekend over de relatie van ammoniakemissie met deze controleerbare parameters. Door Wever et al. werd reeds onderkend dat Kwaliteitszorgsystemen (zoals IKB en GMP) een bijdrage kunnen leveren aan de controle en handhaving van de AMvB-Huisvesting. Voerspecificaties zouden daarbij onderdeel uit moeten maken van zorgsystemen op veehouderijbedrijven met varkens en pluimvee en eventueel ook met melkvee. De veevoedersector heeft destijds aangegeven bereid te zijn om deze specificaties ten behoeve van milieuzorg te borgen (Wever et al., 1997).

Na 1997 zijn in het vervolgonderzoek de belangrijkste aspecten die genoemd zijn op de studiemiddag en in de verkenning van Wever e.a. ter harte genomen. Zo ook in het project "Voeding en ammoniak" van PV en IMAG dat in 1998 is gestart. In dit project zijn diverse onderzoeksfasen te onderscheiden.

---

<sup>1</sup> Uitzondering hierop zijn luchtwassystemen. Dit zijn zogenaamde nageschakelde technieken waarbij de ammoniak wordt 'weggevangen' uit de uitgaande stallucht. Deze 'end of pipe'-technieken zijn in natuurlijk geventileerde melkveestallen echter moeilijker toepasbaar dan in mechanische geventileerde stallen voor varkens en pluimvee en zijn tot nu toe in natuurlijk geventileerde stallen nog niet toegepast.

Fase 1a (1998 t/m 2002)

Onderzoek naar de relatie tussen voeding en ammoniakemissie vanuit de stal. Ammoniakemissie vanuit de stal wordt gemeten bij diverse rantsoentypen (graskuil, snijmais, graskuil/snijmais-mengsel) en eiwitniveaus (Onbestendig Eiwit Balans van het rantsoen resp. 0, 500, 1000 g/dier/dag) in meerdere herhalingen in korte meetperioden. Tevens is het tankmelkureumgehalte beoordeeld als graadmeter voor emissiereductie.

Fase 1b (2000 t/m 2002)

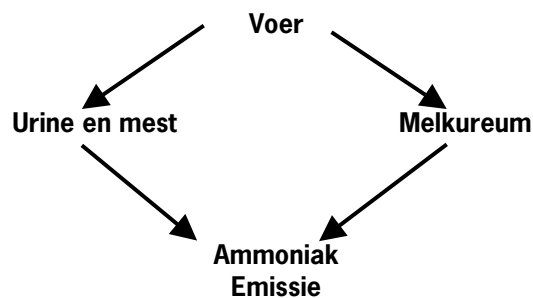
Onderzoek naar de relatie tussen melkureumgehalte en ammoniakemissie vanuit de stal bij beperkte beweiding (ca. 9 uur weidegang per dag).

Fase 2 (2000 t/m 2002)

Een jaarrond meetreeks van de ammoniakemissie vanuit de stal is aangelegd ten behoeve van een wetenschappelijke onderbouwing van eventuele aanpassingen in de meetstrategie behorende bij het protocol voor het vaststellen van emissiefactoren voor een natuurlijk geventileerde rundveestal.

Alle metingen ten behoeve van de fasen 1a, 1b en 2 zijn uitgevoerd op het "Voer- en emissiebedrijf" van de "Waiboerhoeve" in Lelystad. Dit is een bedrijf met een natuurlijk geventileerde ligboxenstal met een roostervloer. De verschillende onderzoeksfasen zijn in afzonderlijke publicaties beschreven. Een overzicht hiervan is te vinden in het hoofdstuk "Literatuur". Dit rapport geeft een volledige beschrijving van onderzoeksfase 1a, waarin de relatie tussen voer en ammoniakemissie vanuit de melkveestal is beschreven, inclusief de tussenliggende 'sleutelparameters' (zie figuur 1).

**Figuur 1** Schema 'Voer - Sleutelparameters - Ammoniakemissie'



In hoofdstuk 2 wordt een literatuuroverzicht gegeven van relaties tussen voer, mest- en urinesamenstelling, melkureumgehalte en ammoniakemissie. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een beschrijving gegeven van materiaal en methoden uit het project "Voeding en ammoniak". De resultaten uit dit project komen aan de orde in de hoofdstukken 4 en 5 en worden bediscussieerd in hoofdstuk 6. Ten slotte wordt in hoofdstuk 7 ingegaan op het terugdringen van ammoniakemissie in de praktijk.

## 2 Literatuuroverzicht voer, urine, mest en (melk)ureum

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van relaties tussen de voeding van melkvee, de samenstelling van mest en urine, het gehalte aan ureum in de melk en ammoniakemissie. Tevens wordt kort ingegaan op het effect van niet-voedingsfactoren op het melkureumgehalte.

### 2.1 Relatie tussen voer, urine- en mestparameters en ammoniakemissie

#### 2.1.1 Ureumconcentratie in urine en OEB in relatie tot ammoniakemissie

Uit onderzoek in een modelsysteem van een rundveestal is een lineaire relatie gebleken tussen de ureumconcentratie in de urine en de ammoniakemissie (Elzing en Kroodsmā, 1993). De ureumconcentratie in de urine kan verlaagd worden door de hoeveelheid uit te scheiden stikstof te beperken en door het urinevolume te vergroten. De N-uitscheiding in de urine is afhankelijk van de energie- en eiwitvoorziening via het rantsoen en de behoefte (benutting) van het dier. Naar de afstemming van het (energie- en) eiwitaanbod op de behoefte van de koe is veel onderzoek gedaan (Meijer et al., 1996; FOMA, 1994; Van Vuuren et al., 1993; Valk en Hobbelink, 1992). Er zijn ook kwantitatieve relaties ontwikkeld en vertaald in een praktisch systeem: het DVE-systeem (Tamminga et al., 1994).

Als vervolg op het onderzoek van Elzing en Kroodsmā (1993) werd in 1993 een oriënterend onderzoek uitgevoerd in een stal met 34 lacterende melkkoeien (gemiddelde FCM-productie 31,5 kg/koe/dag). De koeien waren gehuisvest in een mechanisch geventileerde stal<sup>1</sup> met een speciale, hellende 'dichte' vloer<sup>2</sup>. Verwacht werd dat zowel de ureumconcentratie in de urine als de ammoniakemissie fors zouden dalen door verlaging van de Onbestendig Eiwit Balans (OEB) van ca. 1000 naar ca. 0 g per koe per dag. Gedurende zes opeenvolgende perioden van drie weken werden twee rantsoenen afwisselend verstrekt: een rantsoen L met een lage OEB en een rantsoen H met een hoge OEB. Bij rantsoen L werd 2% extra zout toegevoegd aan het krachtvoer om dezelfde Na+K opname als in rantsoen H te bewerkstelligen. Dit om de urineproductie en het aantal urinelozingen niet te laten verschillen tussen de rantsoenen. Het resultaat van dit onderzoek was een ca. 40% lagere ammoniakemissie en een ca. 40% lagere ureumconcentratie in de urine bij rantsoen L ten opzichte van rantsoen H (Smits et al., 1993; 1995). Het resultaat bij rantsoen L werd vooral verkregen door het aanbod van onbestendig eiwit en fermenteerbare energie in de pens af te stemmen op de behoefte van het dier; een surplus aan onbestendig eiwit en een tekort aan fermenteerbare energie dienen zoveel mogelijk vermeden te worden.

Op basis van het bovenstaande onderzoek werd geconcludeerd dat er duidelijk perspectief is om ammoniakemissie via een aangepaste (eiwit-)voeding te verminderen.

#### 2.1.2 Urineproductie en emissie

In een volgend experiment werden de effecten op de ammoniakemissie onderzocht van (1) een lagere ureumconcentratie in de urine als gevolg van een groter urinevolume, bij eenzelfde uit te scheiden overmaat aan stikstof en (2) een gelijke ureumconcentratie in de urine door een vergroting van zowel het urinevolume als de N-uitscheiding in de urine (in ongeveer gelijke mate). Dit experiment werd in 1995 uitgevoerd in dezelfde, mechanisch geventileerde stal als in het eerste stalexperiment. De loopvloer was nu echter uitgevoerd als een zogenaamd 'TOP-vloersysteem'.

Afwisselend werden drie verschillende rantsoenen gevoerd: een referentierantsoen (rantsoen B), een rantsoen waaraan zout toegevoegd was in het krachtvoer (rantsoen C) en een rantsoen waarbij ongeveer 160 gram meer N (overmaat) gevoerd werd en ook extra zout (rantsoen A), zodat zowel de verwachte N-uitscheiding in de urine als het verwachte urinevolume in ongeveer gelijke mate- verhoogd zouden zijn ten opzichte van rantsoen B.

<sup>1</sup> Ten tijde van dit experiment was nog geen emissiemeetsysteem voor natuurlijk geventileerde stallen beschikbaar; metingen met mechanische ventilatie werden bruikbaar geacht voor natuurlijk geventileerde stallen.

<sup>2</sup> 'dichte' staat tussen aanhalingstekens omdat er openingen in de vloer waren voor de afvoer van excreta. Uit later onderzoek is gebleken dat door openingen in een dichte vloer veel ammoniak uit de kelder kan verdwijnen (luchtstroming) waardoor emissiereductie met zo'n vloer sterk kan verminderen.

De OEB was bij rantsoen A per koe ongeveer 800 gram per dag hoger dan bij beide andere rantsoenen. Deze hogere OEB werd nagestreefd om een grotere totale N-uitscheiding via de urine te bewerkstelligen. De totale wateropname (drinkwater en voerwater) was bij rantsoen A 21% hoger dan bij rantsoen B. Bij rantsoen C waren er, afgezien van de beoogde significant hogere opname van NaCl en water, geen significante verschillen met rantsoen B.

Hoewel bij rantsoen A ongeveer 1 kg meer ruw eiwit werd opgenomen dan bij rantsoen B, was de ureumconcentratie in de urine niet significant hoger dan bij rantsoen B (tabel 1). De grotere hoeveelheid ureum-N bij rantsoen A werd uitgescheiden in meer liters urine. Hierdoor was het aantal urinelozingen significant hoger. De ammoniakemissie was ook significant hoger bij rantsoen A dan bij rantsoen B. Bij rantsoen C was de ureumconcentratie significant lager, het aantal urinelozingen significant hoger en de ammoniakemissie niet significant verschillend ten opzichte van rantsoen B (Smits et al., 1996a; 1996b). Door Smits et al. (1997) werd geconcludeerd dat emissiebeperkende voedingsmaatregelen gericht dienen te zijn op reductie van het N-surplus in het rantsoen en niet op een vergroting van het urinevolume.

**Tabel 1** Urineparameters en ammoniakemissie per rantsoen in onderzoek van Smits et al. (1996a; 1996b)

	A (n=2)	B (n=3)	C (n=2)
Ureum-N, g/l	4,9 <sup>a</sup>	4,7 <sup>a</sup>	3,3 <sup>b</sup>
Totaal-N, g/l	6,3 <sup>a</sup>	7,1 <sup>b</sup>	4,6 <sup>c</sup>
Na, g/l	3,4 <sup>a</sup>	1,7 <sup>b</sup>	4,7 <sup>c</sup>
K, g/l	9,1 <sup>a</sup>	12,3 <sup>b</sup>	7,4 <sup>c</sup>
Relatieve NH <sub>3</sub> emissie, %	126 <sup>a</sup>	100 <sup>b</sup>	95 <sup>b</sup>

<sup>a,b,c</sup> waarden van rantsoenen met verschillende superscripten verschillen significant ( $P < 0,10$ )

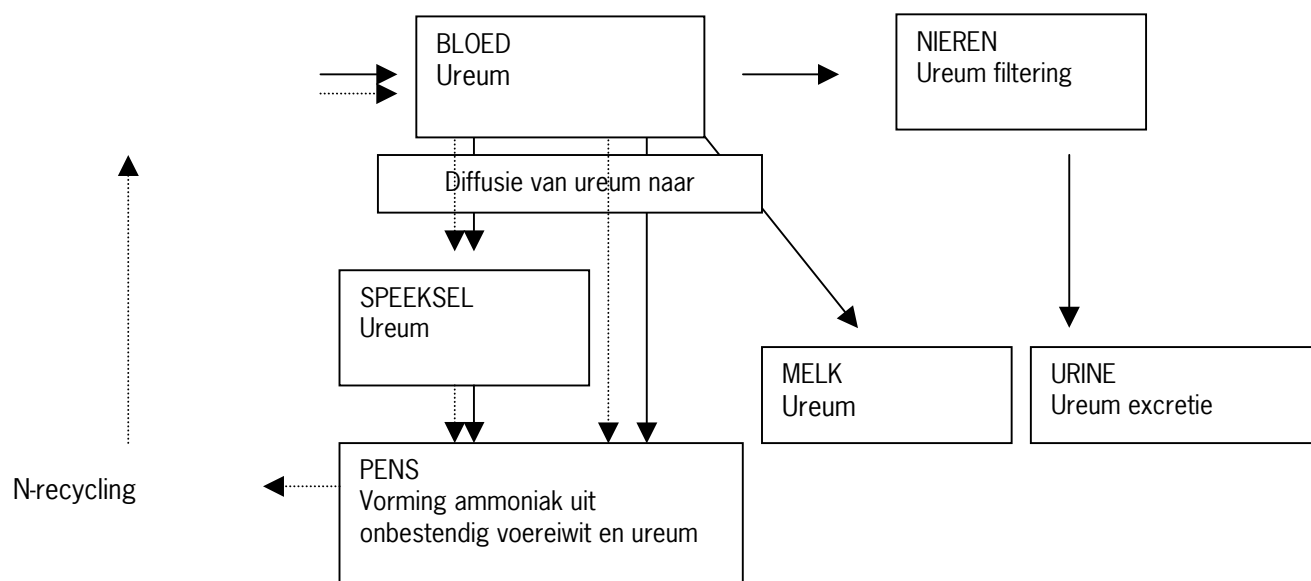
## 2.2 Relatie tussen voer en melkureum

De opname van eiwitrijk voer door de koe is na enige uren af te lezen in het melkureumgehalte. Zo'n 2 uur na de voeropname is een verhoogde ammoniakconcentratie in de pensvloeistof waarneembaar (De Brabander et al., 1999a; 1999b; Van Vuuren, 1994; Van Vuuren en Tamminga, 2001; Van Vuuren et al., 2003). Vervolgens is 1,5 tot 2,0 uur daarna een piek waarneembaar in het ureumgehalte in het bloed(serum) en ten slotte 1 tot 2 uur daarna een piek in het melkureumgehalte (Gustafsson en Palmquist, 1993). Tussen opname van eiwitrijk voer en de "melkureumpiek" ligt gemiddeld dus zo'n 5 uur.

### 2.2.1 Ureumstromen in de melkkoe

Ureum wordt actief gesynthetiseerd in de lever vanuit stikstof (N) houdende verbindingen zoals ammoniak en aminozuren (Hof et al., 1997). Deze N-houdende verbindingen komen vrij bij de pensfermentatie en bij de stofwisseling. Tijdens de pensfermentatie wordt onbestendig eiwit omgezet in ammoniak om vervolgens voor microbiële eiwitsynthese te worden gebruikt. Het overschot aan ammoniak wordt vanuit de pens in het bloed geabsorbeerd. Een andere bron van ammoniak is de eiwitstofwisseling. In de stofwisseling wordt darm verteerbaar eiwit (DVE) benut voor onderhoud, melkeiwitsynthese, synthese van weefsel-eiwit en vervanging van endogene stikstofverliezen met een efficiëntie van respectievelijk 67, 64, 50 en 67%, indien volgens de norm wordt gevoerd (Tamminga et al., 1994). De efficiëntie waarmee DVE wordt benut, is onder andere afhankelijk van de aminozuursamenstelling van het DVE. Indien deze niet optimaal is, daalt de efficiëntie (Van Vuuren, 1994). Niet benut DVE wordt gedeamineerd tot energiedragende componenten en ammoniak. De lever zet de ammoniak-residuen vervolgens om in ureum (Hof et al., 1994). Ook bij de mobilisatie van N-houdende lichaamsreserve (spierweefsel) komt stikstof vrij die door de lever kan worden omgezet in ureum.

In figuur 2 is op hoofdlijnen aangegeven welke route ureum in het lichaam van de koe volgt nadat het in de lever is gesynthetiseerd. Door Van Straalen (1995) zijn de stikstofstromen in melkvee in meer detail gerapporteerd.

**Figuur 2** Ureumstromen in het lichaam van de koe na synthese in de lever

Een gedeelte van het in het bloed aanwezige ureum wordt door de koe uitgescheiden met de melk of met de urine. Uitscheiding via de urine vindt plaats nadat ureum door de nieren uit het bloed is gefilterd. Niet alle stikstof die via de urine wordt uitgescheiden, is vastgelegd in de vorm van ureum. Er wordt ook stikstof in de vorm van purine derivaten (voornamelijk allantoïne) en creatinine uitgescheiden (Gonda en Lindberg, 1994). De excretie van totaal stikstof via de urine bepaald samen met de kalium- en natrium-excretie voor het belangrijkste deel het urine volume (Bannink et al., 1999).

Naast uitscheiding van ureum met melk en urine, wordt ureum via de pens gebruikt voor N-recycling (figuur 2). Het ureum diffundeert van bloed naar speeksel en komt zo in de pensinhoud terecht of komt via rechtstreekse diffusie door de penswand in de pensinhoud. Deze N-recycling ligt in de orde van grootte van 35 tot 65 gram N per dag, hetgeen overeen komt met 220 tot 410 gram onbestendig eiwit per dag (Van Vuuren en Tamminga, 2001). Bij een zeer lage eiwitopname (stikstofopname) past de nierfunctie van de koe zich daarop aan door ureum te sparen voor behoud in de lichaamsspool (Eriksson en Valtonen, 1982). Aan de andere kant kan bij een zeer hoge eiwitopname de capaciteit van de nieren om ureum uit het bloed te filteren ontoereikend zijn. In onderzoek van Mugerwa en Conrad (1971) vlakke de ureumuitscheiding door de nieren af bij een opname van 175 gram NPN ("non protein nitrogen" of "niet eiwit stikstof") per dag. Uit de afvlakkende uitscheidingscurve werd afgeleid dat de fysiologische bovengrens van de nieren was bereikt.

Het ureumgehalte in melk is sterk gecorreleerd aan het ureumgehalte in bloed (Oltner en Wiktorsson, 1985; Gonda en Lindberg, 1994; Meijer et al., 1996). Ureum diffundeert namelijk vrij door de wand van de melkklierkanalen en -tubuli en door het slijmvlies van de melkklierblaasjes. Hierdoor ontstaat een evenwicht tussen het ureumgehalte in bloed en het ureumgehalte in melk. Dit evenwicht stelt zich echter vertraagd in. De tijdsduur waarin het evenwicht zich instelt, de zogenaamde "lagtime", bedraagt 1 tot 2 uur (Gustafsson en Palmquist, 1993). Een marginale factor die dit proces enigszins beïnvloedt, is een geringe mate van ureumsynthese door de melkklier (Mephram et al., 1982).

Melk bevat naast werkelijk eiwit (caseïne) en ureum ook nog enkele andere N-houdende componenten, zoals ammoniak, creatine, creatinine,  $\alpha$ -aminozuren, peptiden en urinezuur (DePeters en Ferguson, 1992).

### 2.2.2 Melkureumgehalte als indicator

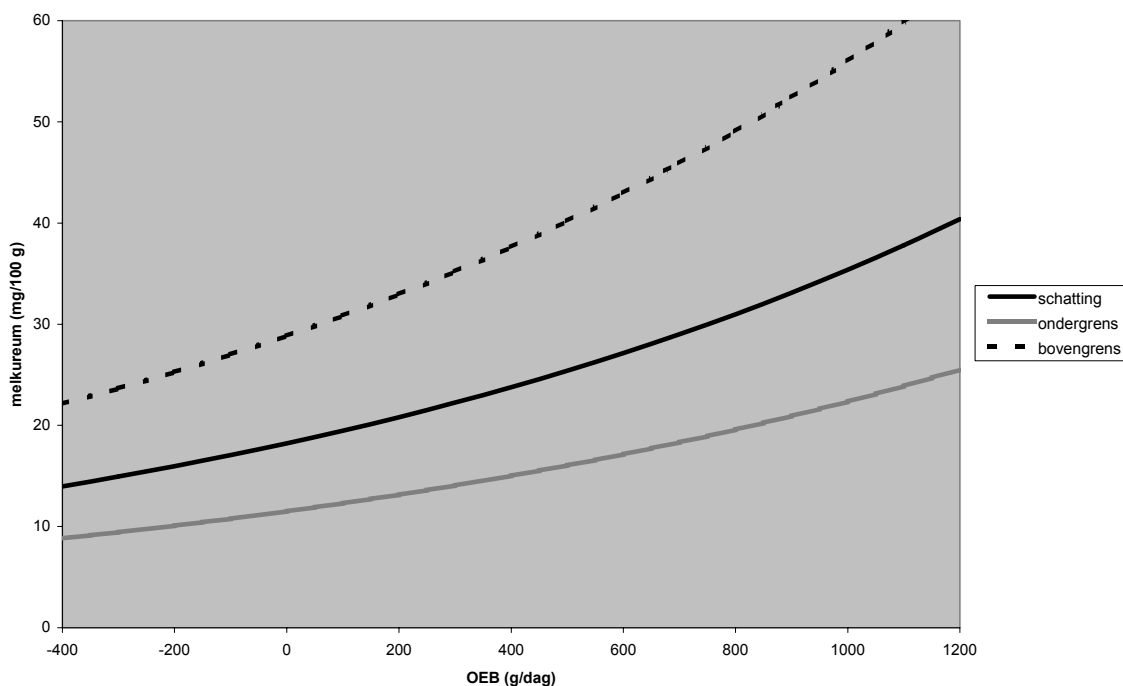
Het gehalte aan ureum in melk kan voor meerdere doeleinden gebruikt worden:

1. Als indicator voor de voedingsstatus van melkvee (Oltner en Wiktorsson, 1983; Gustafsson en Carlsson, 1993; Meijer et al., 1996; Schepers en Meijer, 1998; Zom et al., 2001)
2. Als indicator voor excretie van stikstof via de urine en stikstofbenutting (Ciszuk en Gebregziabher, 1994; Gonda en Lindberg, 1994; Jonker et al., 1998; Schepers en Meijer, 1998; De Brabander et al., 1999b).
3. Als indicator voor de emissie van ammoniak vanuit melkveestallen (Monteny et al., 2000; 2001, Van Duinkerken, 2001).
4. Als indicator, naast andere factoren, voor de vruchtbaarheid van melkvee (Ferguson et al., 1988; Gustafsson en Carlsson, 1993).
5. Voor de detectie van mastitis (Licata, 1985), eventueel in combinatie met de factor celgetal in melk (De Brabander et al., 1999b).

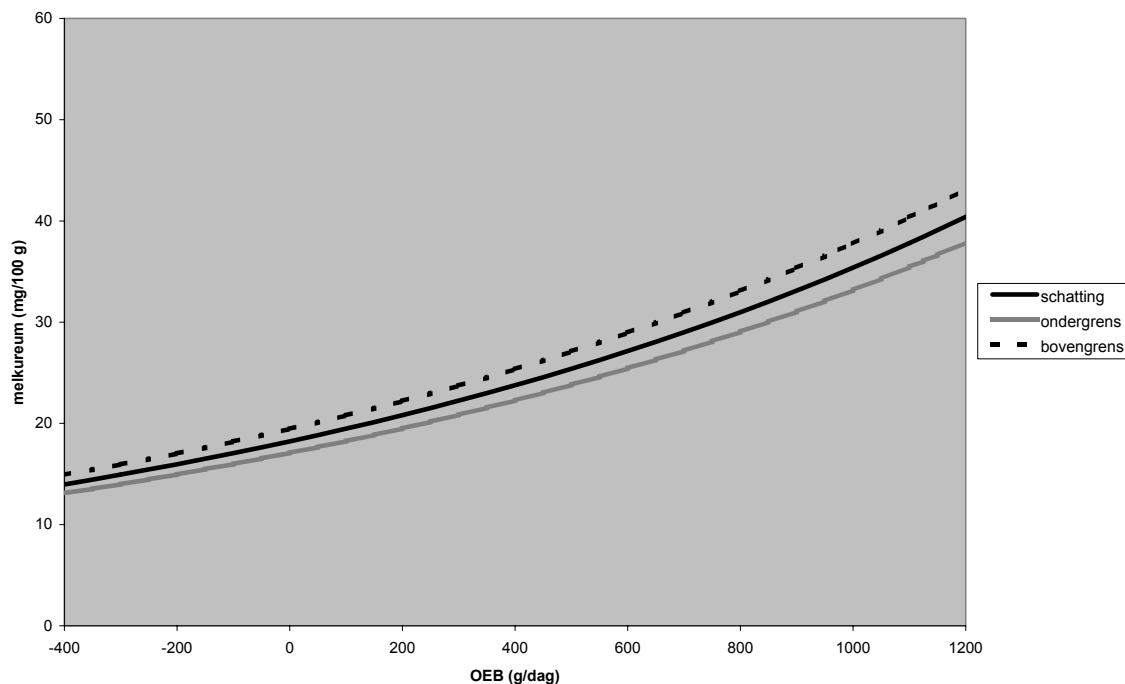
Het gebruik van het melkureumgehalte als indicator voor de voedingsstatus van melkvee, impliceert dat het melkureumgehalte via voedingsmaatregelen te beïnvloeden is. Het melkureumgehalte blijkt met name afhankelijk van de Onbestendig Eiwit Balans (OEB) van het rantsoen, de voorziening met DVE en in mindere mate van de voorziening met netto energie (Meijer et al., 1996; Schepers en Meijer, 1998; De Brabander et al., 1999a; 1999b). Het melkureumgehalte is daarbij positief gecorreleerd met de OEB en de DVE-voorziening en negatief gecorreleerd met de netto energie voorziening.

Schepers en Meijer (1998) rapporteren het 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de voorspelling van het melkureumgehalte uit de OEB voor een individuele koe (figuur 3) bij normvoeding voor DVE en netto energie (VEM volgens Van Es, 1975; 1978). Hiervan afgeleid is het 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de voorspelling van het melkureumgehalte uit de OEB voor een groep van 50 koeien (figuur 4).

**Figuur 3** Onder- en bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de voorspelling van het melkureumgehalte uit de OEB voor een **individuele** koe bij normvoeding voor DVE en netto energie (Schepers en Meijer, 1998)



**Figuur 4** Onder- en bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de voorspelling van het melkureumgehalte uit de OEB voor een **groep van 50 koeien** bij normvoeding voor DVE en netto energie (afgeleid van Schepers en Meijer, 1998)



Het is van belang bij de interpretatie van melkureumgehalten de nauwkeurigheid van de gehanteerde analysemethode in ogenschouw te nemen. In onderzoek wordt meestal gebruik gemaakt van een analysemethode met een hoge nauwkeurigheid. In Nederland is dat tot en met 2000 de methode met behulp van de Traacs 800, continue flow systeem, volgens analysevoorschrift SER-A013 van Stichting Melkcontrolestation Nederland (MCS, 1998). Met ingang van 2001 is dat de pH-verschil methode, volgens analysevoorschrift SER-A055 (MCS, 2001). Melkmonsters van praktijkbedrijven die tijdens de melkaflevering worden genomen, worden in Nederland geanalyseerd met behulp van een infrarood methode. Deze methode is sneller en goedkoper, maar de nauwkeurigheid is lager. In een oriënterend onderzoek van het MCS is de standaardafwijking bij onderzoek op de infrarood analyse apparatuur (Milkoscan 4500) vergeleken met die van de referentiemethode met de Traacs 800 autoanalyser (Van den Bijgaart, 1999). In dat onderzoek werd voor individuele koemelkmonsters een standaardafwijking (van de herhaalbaarheid, sr) van 0,7 mg/100 g melk voor de autoanalyser en een standaardafwijking (standaardschattingsfout,  $s_{y,x}$ ) van 4,9 mg/100 g melk voor de Milkoscan 4500 gerapporteerd. In tabel 2 is een overzicht gegeven van het meetbereik en de herhaalbaarheid van in Nederland toegepaste analysemethoden (MCS, 1998; 2001) voor de bepaling van ureum in melk.

**Tabel 2** Informatie over analysemethoden voor bepaling van ureum in melk (MCS, 1998; 2001)

Omschrijving	Periode van toepassing	Voorschrift MCS	Meetbereik	Herhaalbaarheid
Tankmelkleverantie praktijk Infrarood Milkoscan 4500	vanaf juni 1998	GEH-A001	-	-
Tankmelkleverantie praktijk Infrarood Milkoscan FT6000	vanaf maart 2001	GEH-A003	1-120 mg/100 g	5 mg/100 g bij niveau 30 mg/100 g
Onderzoek Traacs 800 autoanalyser	t/m 2000	SER-A013	10-75 mg/100 g	2 mg/100 g
Onderzoek pH-verschil methode	na 2000	SER-A055	1-100 mg/100 g	1,5 mg/100 g

### **2.3 Effect van niet-voedingsfactoren op het melkureumgehalte**

De relatie tussen voedingsgerelateerde factoren en het melkureumgehalte blijkt duidelijk aanwezig. Er is ook onderzoek verricht aan het effect van niet-voedingsgerelateerde factoren op het melkureumgehalte. Schepers en Meijer (1998) toonden aan dat pariteit/leeftijd en lactatiestadium niet van wezenlijke invloed zijn op het ureumgehalte in melk. Dit komt overeen met de conclusies uit ander onderzoek (De Brabander et al., 1999a). De Brabander et al. (1999a) vonden tevens dat het lichaamsgewicht en het niveau van melkproductie bij een gegeven energie- en eiwitvoorziening geen significante invloed hebben op het gehalte aan melkureum. Mogelijk is bij een negatieve energiebalans bij hoogproductieve dieren wel een enigszins verhoogd melkureumgehalte te verwachten als gevolg van gluconeogenese uit glucogene aminozuren. Ten slotte konden De Brabander et al. (1999a) geen raseffect vaststellen bij de traditionele melkveerassen in België en Nederland.



### 3 Materiaal en methoden

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de toegepaste onderzoeksmethoden in het experimentele onderzoek van het project "Voeding en ammoniak". Aan de orde komen onder andere de proefopzet, de faciliteiten op het onderzoeksbedrijf, de waarnemingen en de statistische analysemethode.

#### 3.1 Proefopzet

Het experimentele onderzoek was opgezet als  $3^2$  factoriële proef met de proeffactoren "OEB" op drie niveaus en "Ruwvoertype", uitgedrukt als snijmaïsaandeel, op drie niveaus. De proef is uitgevoerd als wisselproef met drie herhalingen in de tijd. De experimentele eenheid betrof een periode van drie aaneengesloten weken. Elke herhaling bestreek in principe een periode van 27 weken. Vanwege technische problemen met de emissiemetingen gedurende bepaalde periodes, zijn een aantal behandelingen extra herhaald. Uitgangspunt was dat van elke behandeling tenminste drie herhalingen beschikbaar zouden zijn waarin voldoende meetgegevens verzameld waren.

De ingestelde factoren in de proef hadden betrekking op de rantsoensamenstelling van de melkgevende koeien, namelijk "Ruwvoertype" en "Onbestendig Eiwit Balans (OEB)", elk met drie niveaus. De naamgeving van de negen behandelingen is vermeld in tabel 3.

**Tabel 3** Naamgeving van behandelingen in het experimentele onderzoek

OEB (g/dier/dag)	0	500	1000
Ruwvoertype (% van ds)			
100 graskuil	G0	G500	G1000
50 graskuil + 50 snijmaïs	GM0	GM500	GM1000
100 snijmaïs	M0	M500	M1000

De volgorde van behandelingen binnen een herhaling werd door middel van loting vastgesteld. Bij emissiemeting op stalniveau is het niet mogelijk om behandelingen gelijktijdig uit te voeren. Daarom werden de behandelingen na elkaar in de tijd uitgevoerd. De duur van elke behandeling was drie weken. Om voedingsstoornissen bij het vee te voorkomen, werd een wisseling van behandeling niet abrupt ingezet. Een wisseling werd, afhankelijk van de mate van verschil tussen opeenvolgende behandelingen, gedurende één tot vijf dagen geleidelijk doorgevoerd. Deze overgangsdagen maakten deel uit van de behandelingsperiode van drie weken. De behandeling met volgnummer 9 had een duur van vier weken om te voorkomen dat een wisseling van behandeling met bijbehorende werkzaamheden zou samenvallen met "Open Dagen" op de Waiboerhoeve. In tabel 4 is de volgorde van behandelingen weergegeven.

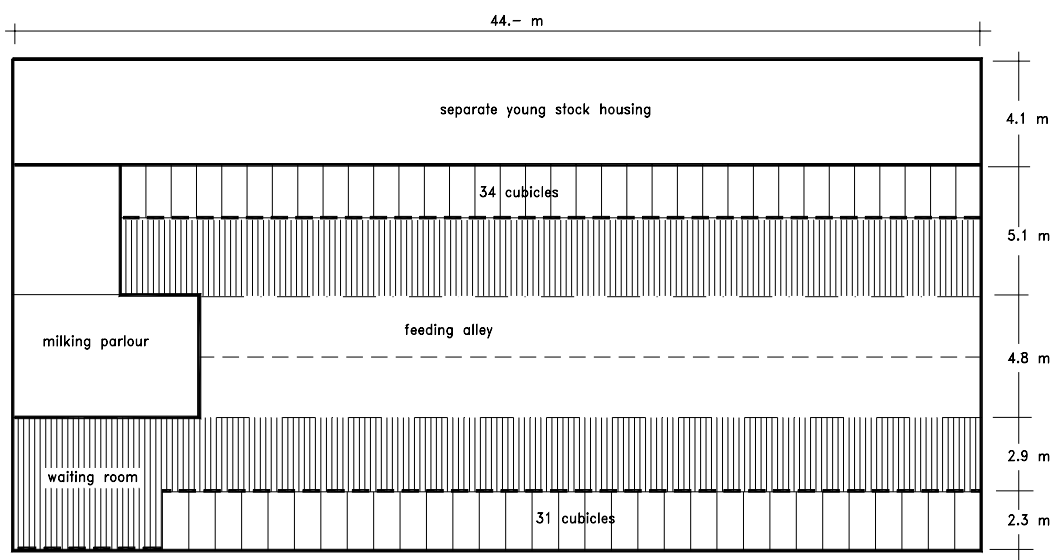
**Tabel 4** Volgorde van behandelingen

Volgnummer	Behandeling	Kalenderweken	Jaar	Herhaling
1	GM500	12, 13, 14	1998	1
2	GM1000	15, 16, 17	1998	1
3	GO	18, 19, 20	1998	1
4	M500	21, 22, 23	1998	1
5	M1000	24, 25, 26	1998	1
6	MO	27, 28, 29	1998	1
7	G1000	30, 31, 32	1998	1
8	G500	33, 34, 35	1998	1
9	GM0	36, 37, 38, 39	1998	1
10	GM1000	40, 41, 42	1998	2
11	GO	43, 44, 45	1998	2
12	M500	46, 47, 48	1998	2
13	GM0	49, 50, 51	1998	2
14	GM500	52, 53, 1	1998-1999	2
15	G1000	2, 3, 4	1999	2
16	G500	5, 6, 7	1999	2
17	MO	8, 9, 10	1999	2
18	M1000	11, 12, 13	1999	2
19	GM500	14, 15, 16	1999	3
20	GM0	17, 18, 19	1999	3
21	G500	20, 21, 22	1999	3
22	GO	23, 24, 25	1999	3
23	M1000	26, 27, 28	1999	3
24	GM500	29, 30, 31	1999	4
25	MO	32, 33, 34	1999	3
26	GM1000	35, 36, 37	1999	3
27	GM500	38, 39, 40	1999	5
28	M500	41, 42, 43	1999	3
29	GM0	44, 45, 46	1999	4
30	G1000	47, 48, 49	1999	3
31	G1000	50, 51, 52	1999	4
32	M500	1, 2, 3	2000	4
33	GO	4, 5, 6	2000	4
34	GM1000	7, 8, 9	2000	4
35	M1000	10, 11, 12	2000	4
36	MO	13, 14, 15	2000	4

### 3.2 Stal

Het onderzoek is uitgevoerd in de melkveestal van het “Voer- en emissiebedrijf” van de “Waiboerhoeve” in Lelystad. Dit is een 2-rijige natuurlijk geventileerde ligboxenstal met roostervloer zonder mestschuif. De lengteas van de stal is gesitueerd van noord naar zuid, met de melkstal aan de noordzijde. De voergang ligt in het midden van de stal met aan weerszijde respectievelijk 34 en 31 ligboxen (figuur 5). De oppervlakte van de roostervloer bedraagt 207 m<sup>2</sup>. Onder de roostervloer, de ligboxen en de voergang bevindt zich een mestkelder met een totale oppervlakte van ca. 605 m<sup>2</sup>, een diepte van 150 cm en een inhoud van ca. 908 m<sup>3</sup>. De mestkelder bestaat uit drie circuits (zie ook figuur 6). Aan de westzijde is het bovenste deel van de wand uitgevoerd met space-boarding. De wand aan de oostzijde is volledig dicht. Op de nok bevindt zich over de lengterichting van de stal een luchtuitlaat met een lichtkoepel. De koeien worden twee maal daags gemolken in een 10 stands visgraat melkstal. Aan de westzijde van de melkstal bevindt zich een wachtruimte met roostervloer. Het jongvee is gehuisvest in een afzonderlijke jongveestal, gelegen aan de oostzijde van de melkveestal.

**Figuur 5** Plattegrond van de melkveestal van het Voer- en emissiebedrijf



### 3.3 Veestapel

In de melkveestal waren continu 55 tot 57 stuks HF-melkvee aanwezig. Er werd gestreefd naar een enigszins gespreid afkalfpatroon om schommelingen in de verhouding tussen lacterende koeien en droogstaande koeien zo veel mogelijk te voorkomen. Droogstaande koeien waren in de melkveestal gehuisvest, maar gescheiden van de melkgevende koeien via een hek. Via het bedrijfsmanagementsysteem is geregistreerd welke dieren in de stal aanwezig waren en wat de productiestatus van elk dier (lacterend of droogstaand) op een bepaald moment was. Drachtige pinken werden enkele weken voor de verwachte afkalfdatum in de melkveestal tussen de droogstaande koeien gebracht. Het melkvee was gedurende het onderzoek volledig opgestald.

### 3.4 Rantsoen

De gewenste OEB van het rantsoen van de melkgevende koeien werd, indien mogelijk, volledig in het basirantsoen aangelegd. Het aanvullende krachtvoer had in dat geval een OEB van 0 g/kg. Het voordeel van deze benadering is dat de OEB van het rantsoen van nieuwmelkte koeien met een hoge krachtvoergift, slechts weinig afwijkt van de OEB van het rantsoen van oudmelkte koeien, die slechts weinig krachtvoer ontvangen. Indien de gewenste OEB niet volledig in het basirantsoen kon worden aangelegd, werd door middel van grondstoffenkeuze via het krachtvoer naar het gewenste niveau gestuurd. Bij de rantsoenen met snijmaïs als enig ruwvoer en een OEB van 1000 g/dag is telkens ureum aan het basirantsoen toegevoegd (ca. 1% ureum in het basirantsoen op droge stof basis). In de 3<sup>e</sup> en 4<sup>e</sup> herhaling van behandeling M-500 is eveneens ureum

toegevoegd. Daarbij ging het om kleine hoeveelheden van respectievelijk circa 0,4 en 0,1% ureum in het basisrantsoen op ds-basis.

Het basisrantsoen werd met behulp van een zelfrijdende voermengwagen gemengd en vervolgens verstrekt via 40 kunststoffen voerbakken, voorzien van automatische koherkenning en een automatische weeginrichting voor het voer. Hierdoor was individuele opnameregistratie voor het basisrantsoen mogelijk. Er werd onbepaald gevoerd, dat wil zeggen dat werd gestreefd naar een voerrest van ca. 5%. Voyerresten werden dagelijks uit de bakken verwijderd. Aanvullend krachtvoer werd verstrekt via twee krachtvoerautomaten. In de melkstal werd twee maal daags een halve kilo brok per koe verstrekt. De individuele krachtvoergift werd aan het begin van elke behandeling berekend op basis van normvoeding voor VEM en DVE. Per behandeling werd een batch krachtvoer gemaakt volgens specificaties die aansloten bij de gewenste rantsoensamenstelling.

De gehalten aan natrium en kalium in het rantsoen werden niet ingesteld op een vast niveau, maar zijn te beschouwen als resultante van het rantsoen. Dit betekent dat rantsoenen op basis van graskuil doorgaans hogere gehalten aan natrium en vooral kalium bevatten dan rantsoenen op basis van snijmaïs.

Doorgaans werd een mineralenmengsel aan het basisrantsoen toegevoegd. Ook is in een aantal gevallen zout en/of krijt toegevoegd om te kunnen voldoen aan de behoeftenormen voor respectievelijk natrium en calcium.

De ruwvoeropname en de krachtvoeropname zijn dagelijks per koe vastgelegd. De rantsoensamenstelling is telkens op dagbasis berekend.

### *3.4.1 Rantsoen melkgevende koeien*

Het ruwvoer van de melkgevende groep was afhankelijk van de behandeling en bestond uit 100% snijmaïs, uit 50 % snijmaïs plus 50% graskuil of uit 100 % graskuil (op droge stof basis). Het ruwvoer in het basisrantsoen werd, indien nodig, aangevuld met enkelvoudige krachtvoerders zoals sojaschroot, raapzaadschroot en droge bietenpulp om enerzijds het basisrantsoen in balans te brengen voor VEM en DVE en anderzijds in bepaalde gevallen de OEB in de gewenste richting bij te sturen.

### *3.4.2 Rantsoen droogstaande koeien*

Het basisrantsoen van de droogstaande groep bestond voor 70% uit het ruwvoerrantsoen van de melkgevende koeien (hetzij 100% snijmaïs, 50% snijmaïs + 50% graskuil of 100% graskuil) aangevuld met 30% stro (op drogestof basis).

Gemiddeld tien dagen voor de verwachte afkalftdatum, werden dieren vanuit de groep met droogstaande koeien overgebracht naar de groep met melkgevende koeien. Vanaf dat moment ontvingen de droogstaande koeien dus het basisrantsoen voor melkgevende koeien. Droogstaande koeien ontvingen geen aanvullend krachtvoer via de melkstal of de krachtvoerautomaat.

### *3.4.3 Bemonstering voer*

Alle partijen ruwvoer werden bemonsterd en geanalyseerd op chemische samenstelling en voederwaarde. Op basis van deze analyse werden de partijen ruwvoer voor de verschillende behandelingen geselecteerd.

Bij het voeren van een mengsel werd wekelijks van elk voedermiddel (graskuil, snijmaïs, stro, sojaschroot e.d.) een monster genomen voor droge stof bepaling (in duplo). Deze bepaling is ten behoeve van het bepalen van de mengverhouding.

Van het basisrantsoen dat via de kunststoffen voerbakken werd verstrekt, werd dagelijks een monster genomen voor bepaling van droge stof (in duplo). Deze bepaling is ten behoeve van de berekening van de individuele voeropname.

Van ieder voedermiddel dat tijdens een behandeling is gevoerd, met uitzondering van stro, werd in de laatste week van de behandeling op tenminste twee dagen een representatief monster genomen. Deze monsters werden ingevroren en per behandeling samengevoegd. Van het gevoerde stro werd in elke behandeling tijdens de derde week een monster genomen. Deze monsters werden per partij samengevoegd. Van elke batch krachtvoer werd een monster genomen. In tabel 5 is aangegeven welke bepalingen zijn uitgevoerd in de voermonsters die ten tijde van vervoeding zijn genomen. Deze bepalingen zijn gebruikt in de verdere verwerking van de proefresultaten.

**Tabel 5** Analyses in voermonsters die ten tijde van vervoeding zijn genomen

Voedermiddel	Chemische analyse	Berekening
Graskuil	DS, RAS, RE, RC, NH <sub>3</sub> , SUI (na inversie), VCOS (Tilley en Terry), Na, K, Ca, Mg en P	VEM, DVE, OEB, FOS
Snijmaïs	DS, RAS, RE, RC, ZET (amylo-glucosidase), VCOS (Tilley en Terry), Na, K, Ca, Mg en P	VEM, DVE, OEB, FOS
Stro	DS, RAS, RE, RC, VCOS (Tilley en Terry), Na, K, Ca, Mg en P	VEM, DVE, OEB, FOS
Enkelvoudig krachtvoer	DS, RAS, RE, RC, RVET (na hydrolyse), ZET (amylo-glucosidase), SUI (na inversie), Na, K, Ca, Mg en P	VEM, DVE, OEB, FOS
Samengesteld krachtvoer	DS, RAS, RE, RC, RVET (na hydrolyse), ZET (amylo-glucosidase), SUI (na inversie), Na, K, Ca, Mg en P	Niet van toepassing

De voederwaarde (VEM, DVE, OEB en FOS) van samengesteld krachtvoer (brok) werd overgenomen van de opgave volgens de fabrikant.

### 3.5 Melk

De individuele melkgiften zijn geregistreerd met behulp van elektronische melkmeters.

De individuele melksamenstelling (vet en eiwit) is geregistreerd door wekelijks melkproductieregistratie (MPR) uit te voeren. Dit houdt in dat op woensdagavond en donderdagochtend per dier een melkmonster (stapelmonster) werd genomen en vervolgens geanalyseerd op gehalte aan vet en eiwit.

Van elke tankmelkaflevering is een monster genomen en geanalyseerd op het gehalte aan ureum met behulp van de Traacs 800 auto-analyzer van het Melkcontrolestation in Zutphen.

### 3.6 Urine

Tijdens de eerste tien proefperiodes werden wekelijks op woensdag urinemonsters genomen, gedurende vier bloktijden verdeeld over het etmaal (tabel 6). Getracht werd om van 15 dieren, verspreid door de stal, een urinelozing te bemonsteren gedurende de blokperiode. Er werd gestreefd naar een gelijk aantal monsters per mestgang en een representatief aantal monsters van droogstaande koeien.

De urinemonsters werden genomen bij vrijwillige urinelozingen van de koeien, zodat het normale lozingspatroon zo min mogelijk werd beïnvloed. De koeien werden niet aangezet tot urineren door ze bijvoorbeeld op te jagen en ook niet door het aanzetten tot opstaan van liggende dieren. Koeien werden wel aangezet tot opstaan indien het bijna tijd voor melken was, maar dit gebeurt normaliter ook als de dieren naar de wachtruimte gestuurd worden.

Vanaf proefperiode 11 werden alleen urinemonsters genomen voor de avondmelking (blok 3) op de maandag, woensdag en vrijdag in de laatste week van elke proefperiode. In de eerdere proefperiodes was geen structureel verschil in urinesamenstelling tussen de bloktijden gevonden. Tevens was gebleken dat de urinesamenstelling zich vrij snel aanpaste aan een rantsoenwisseling zodat een goed beeld verkregen kon worden door op drie dagen in de derde week voor de avondmelking van circa 15 melkkoeien de urinelozing te bemonsteren.

**Tabel 6** Bloktijden voor het bemonsteren van urine

Bloktijd	Moment	Begintijd	Eindtijd
1	voor ochtendmelking	05.00	06.00
2	na ochtendvoeding	09.00	11.00
3	voor avondmelking	15.00	16.00
4	's avonds	20.00	22.00

De urine werd opgevangen met een steelpan aan een stok van ca. 2,5 m lengte. De urine werd vervolgens direct in een kunststof monsterfles gegoten en voorzien van een label met flesnummer, diernummer, datum en tijdstip. Direct na het opvangen werden de urinemonsters in een koelbox gedaan met bevroren koeielementen. Na elk blok werden de urinemonsters ingevroren in de diepvries tot het moment van analyse. Per blok werd uit de individuele monsters een mengmonster gemaakt dat werd geanalyseerd op pH en gehalte aan totaal stikstof,

ureum, natrium en kalium. Gedurende een aantal perioden werd tevens het creatininegehalte gemeten ten behoeve van een inschatting van het urinevolume.

### 3.7 Mest

Telkens werd bij aanvang van een behandeling het mestniveau in de mestkelder terug gebracht tot 75 cm mest, om eventuele effecten van mestniveau op de ammoniak emissie te vermijden. Het mestniveau werd teruggebracht door eerst de mest te mixen en vervolgens een deel over te pompen naar een mestopslag buiten de stal. Op overige momenten werd er niet gemixt, zodat de toplaag van de mest in de kelder voornamelijk afhankelijk was van het rantsoen en nauwelijks van de bufferwerking van de reeds aanwezige mest.

Spoelwater uit de melkstal kwam terecht in het mestkeldercircuit onder de voergang.

Per proefperiode werden er 2 typen mestmonsters genomen: (1) een monster van de toplaag van de mest in de kelder aan het begin van elke proefweek en (2) een monster van de mengmest aan het einde van de proefperiode.

Aan het begin van elke week werd een monster genomen van de toplaag van de mest en werd het mestniveau gemeten. In de eerste week van elke behandeling vond de meting van het mestniveau plaats vóór het mixen.

Mestbemonstering en niveaumetingen vonden uitsluitend plaats in de kanalen onder beide roostervloeren via tien meetpunten (figuur 6). De mest die via de tien meetpunten werd verzameld, werd samengevoegd, gemengd en bij een temperatuur van 4 °C gekoeld bewaard tot het moment van analyse. De mest werd in duplo geanalyseerd op pH en gehalte aan droge stof, ruw as, totaal stikstof, ammoniakstikstof, fosfor, natrium en kalium.

Na afloop van het mixen van de mest en na het overpompen van mest werd het mestniveau in beide kanalen onder de roostervloeren (tien meetpunten) opnieuw vastgelegd. De niveaumetingen zijn gebruikt voor het bepalen van de bruto mestproductie in de betreffende behandelingsperiode.

**Figuur 6** Plaats van de meetpunten voor mestbemonstering en bepaling van het mestniveau

Circuit 1		Circuit 2		Circuit 3	
	6 *	melkstal	melkstal	6 *	
	8 *			8 *	
	8 *			8 *	
	8 *			8 *	
	8 *			8 *	
	6			6	
ligboxen	roosters # #	voergang		# roosters	ligboxen

\* = meetpunt mestniveau

# = mixerput

6, 8 = afstand tussen de meetpunten (m)

Direct na het mixen en overpompen werden, vanuit beide kanalen onder de roosters, mestmonsters genomen met een bemonsteringsbuis. Deze werden samengevoegd in een emmer en goed gemengd. Van dit mengsel werden twee submonsters genomen voor analyse in duplo. De samenstelling van deze monsters wordt als weerspiegeling van een behandelingsperiode beschouwd. Tevens is dat de samenstelling van de bulkvoorraad mest in de kelder bij aanvang van de aansluitende behandelingsperiode. Behandeling en analyse van de bulkmonsters waren gelijk aan die van de monsters van de toplaag.

Telkens wanneer mest werd gemixt, overgepompt, bemonsterd of wanneer het mestniveau werd bepaald, werden datum en tijdstip genoteerd.

### 3.8 Waterverbruik

De afvoer van spoelwater naar de mestkelder kan een effect hebben op de ammoniakemissie. Om zicht te krijgen op het waterverbruik voor diverse doeleinden, zijn op diverse plaatsen watermeters geïnstalleerd. De watermeterstanden zijn twee maal per week op vaste dagen (dinsdag en vrijdag) opgenomen. Daarbij zijn datum en tijdstip van meteropname genoteerd. Telkens werden in de derde week van een behandeling de meterstanden opgenomen op nagenoeg hetzelfde moment als waarop het mestniveau in de kelders werd gemeten. Op basis van de watermeterstanden zijn het drinkwaterverbruik en de afvoer van spoelwater naar de mestkelder berekend. De wachtruimte naast de melkstal werd niet schoon gespoten, maar bleef zoals de koeien hem achterlieten.

### 3.9 Lichaamsgewicht

Tijdens elke behandeling werd van alle melkgevende en droge koeien het lichaamsgewicht bepaald. Dit gebeurde door tijdens de tweede week van een behandeling op twee opeenvolgende dagen op hetzelfde tijdstip alle dieren te wegen. Met het gemiddelde van deze twee wegingen is verder gerekend bij de vaststelling van de behoeftenormen van het vee voor diverse nutriënten. Aanvullend werden vaarzen en koeien die in de groep droge koeien instroomden op het moment van wisseling van groep gewogen.

### 3.10 Emissiemeting

De ammoniakemissiemetingen werden semi-continu uitgevoerd met behulp van de zogenaamde interne tracergas ratiomethode. Deze methode is eerder uitvoerig beschreven door Scholtens en Huis in 't Veld (1997). Als tracergas wordt zwavelhexafluoride ( $\text{SF}_6$ ) gebruikt. Dit tracergas wordt nabij de roostervloer in de stal geïnjecteerd via tracergasleidingen met uitlaatventielen, gemonteerd aan de achterrand van de ligboxen. In de nok van de stal wordt de stallucht bemonsterd met behulp van een leiding met meerdere luchtinlaten, zodat een representatief mengmonster wordt genomen. De stallucht wordt geanalyseerd op ammoniak (via een convertor en  $\text{NO}_x$  monitor) en  $\text{SF}_6$  (via een gaschromatograaf).

De bronsterkte van  $\text{NH}_3$ , dat is de ammoniakemissie, wordt vervolgens berekend met behulp van formule F1, ervan uitgaande dat  $\text{NH}_3$  en  $\text{SF}_6$  zich in de stallucht op identieke wijze verspreiden vanaf de bron.

$$\text{MF}_{\text{SF}_6} : \text{MF}_{\text{NH}_3} = \text{C}_{\text{SF}_6} : \text{C}_{\text{NH}_3} \quad [\text{F1}]$$

met:

$\text{MF}_{\text{SF}_6}$  = massaflux van het tracergas  $\text{SF}_6$  dat nabij de roostervloer is geïnjecteerd (g/uur)

$\text{MF}_{\text{NH}_3}$  = massaflux van  $\text{NH}_3$  vanaf de vloer en vanuit de kelder, d.w.z. de ammoniakemissie (g/uur)

$\text{C}_{\text{SF}_6}$  = concentratie van het tracergas  $\text{SF}_6$  in de stallucht ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

$\text{C}_{\text{NH}_3}$  = concentratie van  $\text{NH}_3$  in de stallucht ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

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

### 3.11 Statistische analyse

#### 3.11.1 Experimentele factoren

De proef was aanvankelijk gepland als een factoriële  $3^2$ -proef in drie herhalingen. De factoren waren:

1. OEB, met drie niveaus
2. ruwvoertype, uitgedrukt als snijmaïsaandeel, met drie niveaus.

Een experimentele eenheid bestaat uit een periode van drie aaneengesloten weken. Bij de uitvoering zijn enkele periodes langer geweest dan drie weken. Verder zijn een aantal behandelingscombinaties extra herhaald, nl. wanneer er sprake was van ontbrekende of afwijkende waarnemingen. De factoriële instellingen zijn bij grote overgangen stapsgewijs gerealiseerd.

De factor OEB is telkens ingesteld uitgaande van respectievelijk 0, 500 of 1000 g/dier/dag voor de melkgevende koeien. Echter, ten aanzien van de stalemissie van ammoniak geldt dat zowel melkgevende als droogstaande koeien een bijdrage aan de emissie leveren. Daarom is in de statistische analyse de OEB uitgedrukt in kg per totaal aanwezig dier (dus inclusief droogstaande dieren) per dag. In de discussie (hoofdstuk 5) wordt hier uitgebreider op ingegaan.

Het ruwvoertype is in de statistische analyse beschouwd als het aandeel snijmaïs en is berekend als de opgenomen drogestof hoeveelheid snijmaïs t.o.v. de opgenomen hoeveelheid drogestof uit graskuil plus snijmaïs. Ook hier zijn zowel de melkgevende als de droogstaande koeien meegenomen.

Tevens moet worden opgemerkt, dat de vaststelling van het rantsoen per behandeling vooraf werd gebaseerd op kuilanalyses van volledige voerpartijen, terwijl ten behoeve van de (statistische) analyse voederwaardebepalingen zijn gedaan door actuele bemonstering van het verstrekte voer.

Ontbrekende waarnemingen voor de experimentele factoren OEB en snijmaïsaandeel zijn ingeschat door lineaire interpolatie.

### 3.11.2 Dynamische regressieanalyse

#### Modellering

Met behulp van dynamische regressieanalyse (Pankratz, 1991) is een schatting gemaakt van de effecten van de experimentele factoren (OEB en ruwvoertype) op de ammoniakemissie vanuit de stal. Ook is nagegaan of deze experimentele factoren inwisselbaar waren met het ureumgehalte van de tankmelk. In hoofdstuk 5 is hiervan een gedetailleerde en stapsgewijze beschrijving gegeven.

Verder is een dynamisch regressiemodel aangepast voor schatting van het effect van OEB en aandeel snijmaïs op het ureumgehalte van de tankmelk. Dit is beschreven in paragraaf 4.4.

De algemene formule voor een dynamisch regressiemodel is (Pankratz, 1991):

$$Y_t = C + \sum_{i=1}^M \frac{\omega_i(B)B^{b_i}}{\delta_i(B)} X_{i,t} + \frac{\theta(B^s)\theta(B)}{\phi(B^s)\phi(B)\nabla_s^D\nabla^d} a_t \quad [F2.1]$$

Deze formule bevat een aantal componenten die voor de analyse niet nodig (bleken te) zijn, zoals "differencing" en de "seasonal component". De gebruikte modellen zijn veel eenvoudiger. Voor de beschrijving van de relatie tussen de waarneming van de response variabele Y op dag t en de waarnemingen van de verklarende variabelen  $X_1 \dots X_M$  op dag t, dag t-1, t-2 is het volgende dynamische regressie model gebruikt

$$Y_t = C + \sum_{i=1}^M \frac{\omega_i}{1 - \delta_i B} X_{i,t} + e_t \quad [F2.2]$$

hierin stelt  $e_t$  de residuele bijdrage op dag t voor. Verder geldt in bovenstaande formule dat:

$$\sum_{i=1}^M \frac{\omega_i}{1 - \delta_i B} X_{i,t} = \sum_{i=1}^M \omega_i (X_{i,t} + \delta_i X_{i,t-1} + \delta_i^2 X_{i,t-2} + \dots)$$

In een dergelijk dynamische model wordt regressie gepleegd op de waarde van de verklarende variabelen op dag t en voorgaande dagen t-1, t-2.... Daarbij is verondersteld dat het belang van de waarnemingen op voorgaande dagen exponentieel uitdooft met uitdoofsnelheid  $\delta_i$ . Voor het geval enkel de waarneming op dag t van belang is, wordt de uitdoofparameter gelijk aan 0 genomen. Gebruik van uitdoofparameters geeft "zuinige" modellen om de waarnemingen op voorgaande dagen mee te nemen. Zuinigheid met modelparameters is geboden in verband met voorspelnaauwkeurigheid. Bij modellen met een overmaat aan parameters, ruïneert de bijdrage van de schattingsnaauwkeurigheid van de modelparameters de voorspelnaauwkeurigheid van de respons variabele.

Bij de dynamische regressiemodellen is verder aangenomen dat de in de tijd herhaalde waarnemingen van de respons variabele gecorreleerd zijn en dat deze correlatie afdoende kan worden beschreven met een AR(1), autoregressief proces van de orde 1. Bij een AR(1) proces bestaat de volgende relatie tussen het residu op dag t en dag t-1

$$e_t = a_t + \phi e_{t-1}$$

Hierin stelt  $\phi$  de autocorrelatie coëfficiënt voor en is  $a_t$  het zogenaamd innovatieëffect. Deze  $a_t$  wordt verondersteld normaal verdeeld te zijn met gemiddelde 0 en variantie gelijk aan de innovatievariantie  $\sigma_a^2$ .

Uitwerking leert dat



$$e_t = a_t + \phi a_{t-1} + \phi^2 a_{t-2} + \dots,$$

Deze formule wordt compact weergegeven als

$$e_t = \frac{a_t}{1 - \phi B}$$

Hierin is  $B$  de zogenaamde backshift operator:  $Ba_t = a_{t-1}$

Middels corrollogrammen van de residuen werd nagegaan of er gronden zijn te twifelen aan de validiteit van een AR(1) proces voor de residuen.

#### Toetsing en vergelijking van modellen

Het belang van de diverse termen in het model kan worden onderzocht middels de gebruikelijke t-test ( $t = \text{schatting model parameter} / \text{s.e.}$ ). Ook kunnen zogenaamde deviance toetsen gedaan worden (Genstat 5 Committee, 1993). Verschillen in  $N \cdot \ln(\text{Deviance})$ , met  $N$  aantal in de tijd herhaalde metingen van de respons variabele, kunnen als chi-kwadraat variabele worden gebruikt om geneste modellen te toetsen; dit wordt gedragen door asymptotische theorie en ervaring met modellen welke gebaseerd zijn op grote steekproeven waarnemingen.

Het criterium " $N \cdot \ln(\text{Deviance}) + 2k$ ", met  $k$  het aantal geschatte parameters inclusief het aantal missende waarnemingen waarvoor een waarde wordt ingeschat, kan gebruikt worden om te kiezen tussen twee modellen. Het model dat het criterium minimaliseert wordt als meest geschikt model beschouwd. Ingeval er meerdere modellen zijn met dezelfde waarde van  $N \cdot \ln(\text{Deviance}) + 2k$  wordt het model met het kleinste aantal modelparameters gekozen.

Daarnaast kan voor het vergelijken van modellen gekeken worden naar de restvariantie en het percentage door het model verklaarde variantie. Bij aanpassen van de modellen worden schattingen verkregen van de innovatie variantie  $\sigma_a^2$  en de autocorrelatie coëfficiënt  $\phi$  en wordt de totale variantie  $\sigma_{tot}^2 = \sigma_a^2 / (1 - \phi^2)$  berekend. Op basis van de totale variantie is het percentage verklaarde variantie berekend:  $r^2 = 100 * \left( 1 - \frac{\sigma_{tot}^2}{\sigma_{tot,leeg}^2} \right)$ .

Daarbij wordt onder het lege model voor schatting van de ammoniakemissie verstaan het model zonder vaste effecten maar met een AR(1) autoregressief proces van de orde 1 voor beschrijving van de correlatie tussen de residuele bijdragen. Het lege model heeft de vorm

$$Z_t = C_{NH_3} + \frac{1}{1 - \phi_{NH_3} B} a_t \quad [F3.1]$$

met:

$Z_t = \ln(\text{emissie op dag } t)$ ; met emissie gemeten in kg  $NH_3$  in de stalperiode per dier,  $t=1 \dots 763$

Analoog aan het model voor ammoniakemissie (formule F3.1), is een leeg model aangepast voor schatting van het ureumgehalte in tankmelk:

$$U_t = C_{melkureum} + \frac{1}{1 - \phi_{melkureum} B} a_t \quad [F4.1]$$

met:

$U_t$  ureumgehalte in tankmelk op dag  $t$  (mg/100 g melk,  $t=1 \dots 763$ )

#### Betrouwbaarheids- en predictieintervallen

Een beschrijving van methodieken voor het berekenen van betrouwbaarheids- en predictieintervallen is gegeven in bijlage 5.

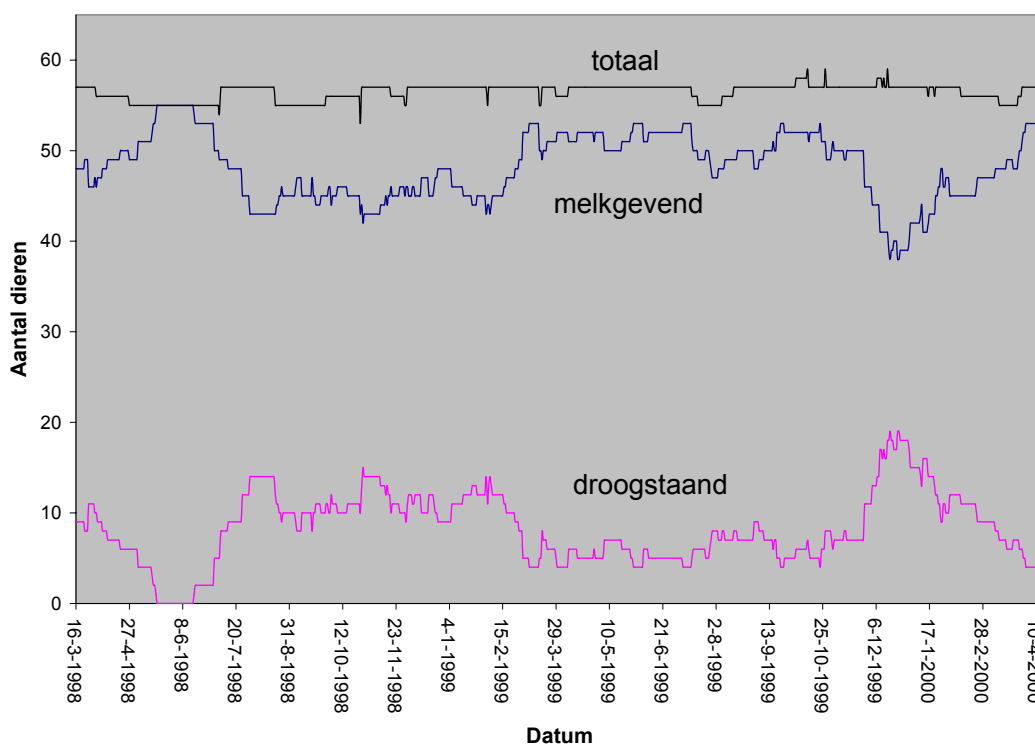
## 4 Resultaten

In dit hoofdstuk is een beschrijving van de resultaten van het experimentele onderzoek gegeven, met uitzondering van de resultaten met betrekking tot de ammoniakemissie vanuit de stal. Vanwege de complexiteit van de emissieresultaten en de hoeveelheid informatie zijn deze gegeven in hoofdstuk 5.

### 4.1 Veestapel, aantal en opbouw

Gedurende de proef werd gestreefd naar een koppel van 55-57 stuks melkvee in de stal. Daarnaast werd, voor zover mogelijk, geprobeerd om de afkalvingen gespreid over het jaar te laten plaats vinden, zodat de verhouding tussen het aantal melkgevende en droogstaande dieren niet te veel varieert. In figuur 7 is weergegeven hoe gedurende de proef het aantal melkgevende, het aantal droogstaande en het totale aantal dieren varieerde.

**Figuur 7** Aantal melkgevende, aantal droogstaande en totale aantal dieren gedurende de proef



Tabel 7 vermeldt het gemiddelde aantal dieren en het gemiddelde aantal melkgevende en droogstaande dieren per behandeling. Het gemiddelde aantal aanwezige dieren was nagenoeg gelijk voor alle behandelingen. Wel is er enig onderscheid tussen behandelingen voor wat betreft de verhouding tussen het aantal melkgevende en het aantal droogstaande koeien. Gemiddeld waren ruim 48 koeien melkgevend, echter voor behandeling G1000 waren dat er het minst met gemiddeld slechts 43,7. Voor behandeling M1000 waren gemiddeld 51,4 koeien melkgevend, dat is het hoogste aantal.

**Tabel 7** Gemiddeld aantal dieren en gemiddeld aantal melkgevende en droogstaande dieren per behandeling

Behandeling	Aantal dieren		Totaal
	Melkgevend	Droogstaand	
G0	48,0	8,4	56,3
G500	46,9	9,7	56,6
G1000	43,7	13,4	57,1
GM0	47,8	8,6	56,3
GM500	49,3	7,3	56,6
GM1000	47,6	8,7	56,2
M0	50,5	6,2	56,7
M500	48,4	8,0	56,4
M1000	51,4	4,6	55,9
Totaal	48,2	8,3	56,5

In tabel 8 zijn per behandeling het gemiddelde lactatienummer, het gemiddeld aantal dagen in lactatie en het gemiddeld aantal dagen in dracht van de melkgevende koeien vermeld. De verschillen tussen behandelingen zijn gering.

**Tabel 8** Gemiddeld lactatienummer, aantal dagen in lactatie en aantal drachtdagen van de melkgevende koeien per behandeling

Behandeling	Lactatienummer	Dagen in lactatie	Dagen dracht
G0	2,5	171	51
G500	2,4	181	53
G1000	2,3	196	59
GM0	2,4	189	63
GM500	2,5	179	53
GM1000	2,5	181	54
M0	2,4	183	57
M500	2,4	190	62
M1000	2,4	174	54
Totaal	2,4	183	56

## 4.2 Voeding melkgevende koeien

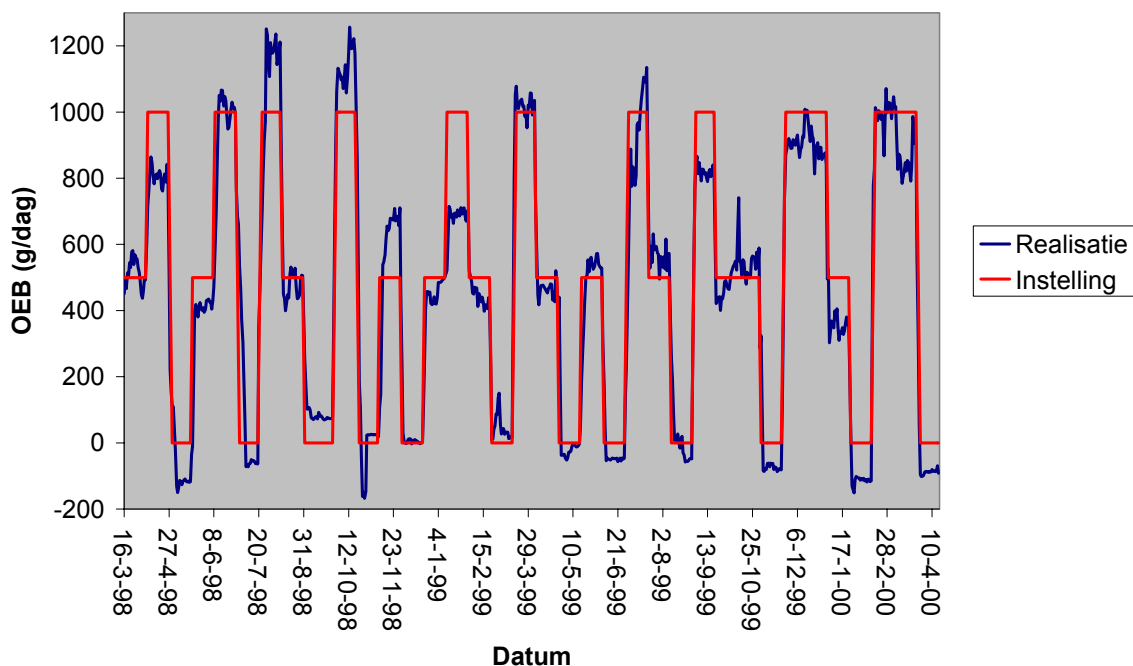
In tabel 9 is de gemiddelde samenstelling van het opgenomen rantsoen voor de melkgevende koeien weergegeven voor de laatste week per behandeling. De gemiddelde ruwvoeropname en de gemiddelde totale voeropname is bij de graskuilrantsoenen het laagst en bij de snijmaïsrantsoenen het hoogst. De gemengde rantsoenen met zowel graskuil en snijmaïs blijken goed gedoseerd te zijn bij het mengen. De gemiddelde opname van graskuil en snijmaïs is daar namelijk nagenoeg gelijk.

Vanwege de lage DVE-waarde van snijmaïs is in de rantsoenen met snijmaïs een eiwitbron aan het basisrantsoen toegevoegd. Afhankelijk van de benodigde DVE-aanvulling en de streefwaarde voor de OEB werd daarbij gekozen voor sojaschroot, raapzaadschroot of bestendig sojaschroot. Incidenteel is aan het rantsoen G0 een kleine hoeveelheid gedroogde en gepelleteerde bietenpulp toegevoegd om aan de streefwaarde voor de OEB te kunnen voldoen. Incidenteel is aan het basisrantsoen bij de behandelingen G500 en G1000 een kleine hoeveelheid van respectievelijk raapzaadschroot en sojaschroot toegevoegd om de gewenste VEM/DVE verhouding te bereiken en de OEB bij te sturen. De categorie "overig" in tabel 9 bestaat voornamelijk uit mineralen (premixen, zout e.d.) die, afhankelijk van de gewenste aanvulling, aan het basisrantsoen werden toegevoegd. Ook toegevoegd ureum (zie paragraaf 2.10) is, waar van toepassing, bij de post "overig" inbegrepen.

**Tabel 9** Samenstelling en opname van het door de melkgevende koeien opgenomen rantsoen, gemiddelde van de laatste week per behandeling

kg ds/dier/dag	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
Graskuil	11,2	12,0	12,1	6,8	6,9	6,9	15,1	15,0	15,1
Snijmais	-	-	-	6,9	7,0	7,2	-	-	-
Sojaschroot	-	-	0,2	0,7	1,0	1,2	2,1	3,7	3,4
Bestendig sojas.	-	-	-	0,2	-	-	0,8	-	0,1
Raapzaadschroot	-	0,5	-	-	0,3	0,4	-	-	-
Bietenpulp, droog	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Krachtvoer, brok	7,6	7,0	7,2	6,5	6,1	5,9	3,7	3,3	3,3
Overig	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Totaal	19,3	19,5	19,6	21,3	21,5	21,8	21,8	22,1	22,2

In figuur 8 is het verloop van de gemiddelde OEB van het rantsoen van de melkgevende koeien (in g/dier/dag) weergegeven. Duidelijk herkenbaar zijn de drieweekse behandelingen. Per behandeling verspringt het niveau. Tevens is in de figuur de ingestelde OEB weergegeven.

**Figuur 8** Verloop van de gemiddelde OEB (g/dier/dag) van het rantsoen van de melkgevende koeien: realisatie versus instelling

Tabel 10 geeft een overzicht van de gemiddelde gerealiseerde nutriëntenopname door de melkgevende koeien in de laatste week per behandeling.

De drogestofopname en daarmee samenhangend de VEM-, DVE- en RE-opname zijn hoger naarmate het aandeel snijmais in het rantsoen hoger is. De gerealiseerde OEB per behandeling sluit behoorlijk goed aan bij de ingestelde waarde. De opname aan ruw eiwit is hoger bij hoge waarden voor OEB, maar is tevens positief gecorreleerd met de totale droge stof opname. Vanwege de doorgaans lage gehalten aan K en Ca in snijmais zijn de K- en Ca-opname lager naarmate het aandeel snijmais in het rantsoen hoger is.

In tabel 11 zijn de bijbehorende dekkingspercentages van de behoeftenormen voor VEM, DVE en enkele belangrijke mineralen vermeld. Het blijkt dat op rantsoenen met graskuil als enig ruwvoeder een gemiddelde VEM-dekking van 100% niet werd gehaald. Vooral de nieuwmelkte, hoogproductieve, koeien hadden moeite om op de graskuilrantsoenen in hun energiebehoefte te voorzien, met als gevolg dat het gemiddelde van de melkgevende koppel niet aan 100% komt. Aan de ander kant konden bij de rantsoenen met snijmais als enig ruwvoer, de oudmelkte koeien niet voldoende in hun energieopname worden afgeremd. Als gevolg daarvan ligt de VEM-

dekking bij dit rantsoentype telkens boven 100%. De nagestreefde DVE-dekking van gemiddeld 100% is goed benaderd bij alle rantsoentypen.

Aan de behoeftenormen voor de macro-elementen Ca, P, Mg, K en Na is telkens ruimschoots voldaan. Uitsluitend de Ca-voorziening bij de snijmaïsrantsoenen was rond de ondergrens. Opgemerkt wordt dat de verschillende rantsoenen wel regelmatig zijn gecorrigeerd met mineralenmengsels en voedingszouten zoals magnesiumoxide, zout en krijt indien onderschrijding van de behoeftenormen voor specifieke mineralen dreigde.

**Tabel 10** Gerealiseerde nutriëntenopname (per dier per dag) door de melkgevende koeien, gemiddelde van de laatste week per behandeling

	G0	G500	G1000	GMO	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
DS (kg)	19,3	19,5	19,6	21,3	21,5	21,8	21,8	22,1	22,2
kVEM	17,8	17,7	18,2	19,9	20,2	20,5	21,2	21,6	21,2
DVE (g)	1616	1620	1638	1819	1824	1845	1975	2021	2003
OEB (g)	-66	484	906	-8	503	948	-42	505	996
RE (g)	2716	3131	3513	3031	3549	3978	3137	3740	4197
Ca (g)	128	156	150	124	139	125	92	99	93
P (g)	78	82	85	79	85	92	73	73	75
Mg (g)	69	74	75	72	75	76	61	63	62
K (g)	477	528	578	461	459	477	303	302	295
Na (g)	38	46	43	46	46	51	39	39	38

**Tabel 11** Gerealiseerde dekking (%) van de behoeftenormen voor enkele nutriënten van melkgevende koeien, gemiddelde van de laatste week per behandeling

	G0	G500	G1000	GMO	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
VEM	93	91	94	98	99	98	103	107	103
DVE	104	104	101	104	101	98	100	103	102
Ca	151	180	174	138	152	134	98	109	98
P	116	121	126	113	119	127	100	103	103
Mg	120	127	128	181	185	185	148	157	150
K	656	708	780	602	585	595	377	388	363
Na	186	221	204	214	210	228	174	179	169

Het gemiddelde gehalte aan ruw eiwit, uitgedrukt in gram per kilogram droge stof, voor het rantsoen van de melkgevende koeien in de laatste week per behandeling is weergegeven in tabel 12.

**Tabel 12** Gehalte aan RE (g/kg ds) voor melkgevende koeien, gemiddelde van de laatste week per behandeling

	G0	G500	G1000	GMO	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
RE g/kg ds	141	160	179	142	165	183	144	169	189

### 4.3 Voeding droogstaande koeien

In tabel 13 is de gemiddelde samenstelling van het door de droogstaande koeien opgenomen rantsoen weergegeven voor de laatste week per behandeling. Door het overbrengen van drachtige dieren van de groep droogstaande koeien naar de groep melkgevende koeien op circa 10 dagen voor de verwachte afkalftdatum is, op een beperkt aantal dagen door een beperkt aantal droogstaande koeien, voer opgenomen van het basisrantsoen voor melkgevende koeien. Dit leidde tot een geringe gemiddelde opname van (enkelvoudige) krachtvoerders door droogstaande koeien. In tabel 13 is de opname van mineralen meegenomen in de post "krachtvoer".

**Tabel 13** Samenstelling en opname van het door de droogstaande koeien opgenomen rantsoen, gemiddelde van de laatste week per behandeling

kg ds/dier/dag	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	MO	M500	M1000
Graskuil	8,0	8,6	8,4	4,3	4,5	4,5	-	-	-
Snijmais	-	-	-	4,4	4,6	4,6	7,2	7,9	7,6
Stro	2,3	3,0	2,9	3,0	2,9	3,0	2,7	2,6	2,5
Krachtvoer	0,2	0,1	0,1	0,2	0,5	0,2	0,3	0,5	0,5
Totaal	10,5	11,6	11,4	11,9	12,5	12,3	10,2	11,0	10,6

In tabel 14 is de gemiddelde nutriëntenopname door de droogstaande koeien in de laatste week per behandeling gegeven. De bijbehorende dekkingspercentages van de behoeftenormen voor de diverse nutriënten is gegeven in tabel 15. Doordat tijdens de opzet van het onderzoek is besloten het droogstaande vee te voeren met een mengsel van 70% van het ruwvoermengsel van de melkgevende koeien en 30% stro (op ds-basis) is de eiwitvoorziening van de droogstaande koeien sterk gecorreleerd met de eiwitvoorziening van het melkgevende vee. Bovendien sluit deze wijze van voeren goed aan bij gangbare praktijksituaties waarin droogstaande koeien veelal grotendeels worden gevoerd met dezelfde ruwvoerpartijen (vaak in de vorm van voerresten) als de melkgevende koeien. Consequentie is dat bij de behandelingen G0, MO en GM0 de OEB en RE-voorziening voor de droogstaande koeien laag is. Ook bij de rantsoenen M500 en M1000 is, vanwege het ontbreken van (eiwitrijke) graskuil in het rantsoen, de eiwitvoorziening laag. Op de maïs/stro-rantsoenen is de DVE-voorziening zelfs lager dan de norm. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door het lage aanbod van DVE op die rantsoenen en anderzijds door de toeslag op de DVE-norm als gevolg van een negatieve OEB. Echter, voor koeien in de laatste 10 dagen van de dracht geldt bij alle behandelingen dat aan de behoeftenormen voor de verschillende nutriënten wordt voldaan, aangezien deze dieren worden gevoerd met het uitgebalanceerde basisrantsoen van de melkgevende koeien.

**Tabel 14** Gerealiseerde nutriëntenopname (per dier per dag) door de droogstaande koeien, gemiddelde van de laatste week per behandeling

	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	MO	M500	M1000
DS (kg)	10,5	11,6	11,4	11,9	12,5	12,3	10,2	11,0	10,6
kVEM	7,9	8,5	8,5	9,0	9,6	9,4	8,0	9,1	8,5
DVE (g)	535	580	585	562	608	553	388	506	456
OEB (g)	-122	271	434	-176	66	115	-266	-255	-152
RE (g)	1052	1492	1608	1107	1410	1346	730	906	931
Ca (g)	58	73	74	47	61	60	27	31	31
P (g)	37	41	41	35	36	37	26	28	28
Mg (g)	27	32	32	30	32	30	28	30	26
K (g)	285	349	357	255	258	271	128	137	127
Na (g)	15	20	21	15	16	17	10	13	11

**Tabel 15** Gerealiseerde dekking (%) van de behoeftenormen voor enkele nutriënten van droogstaande koeien, gemiddelde van de laatste week per behandeling

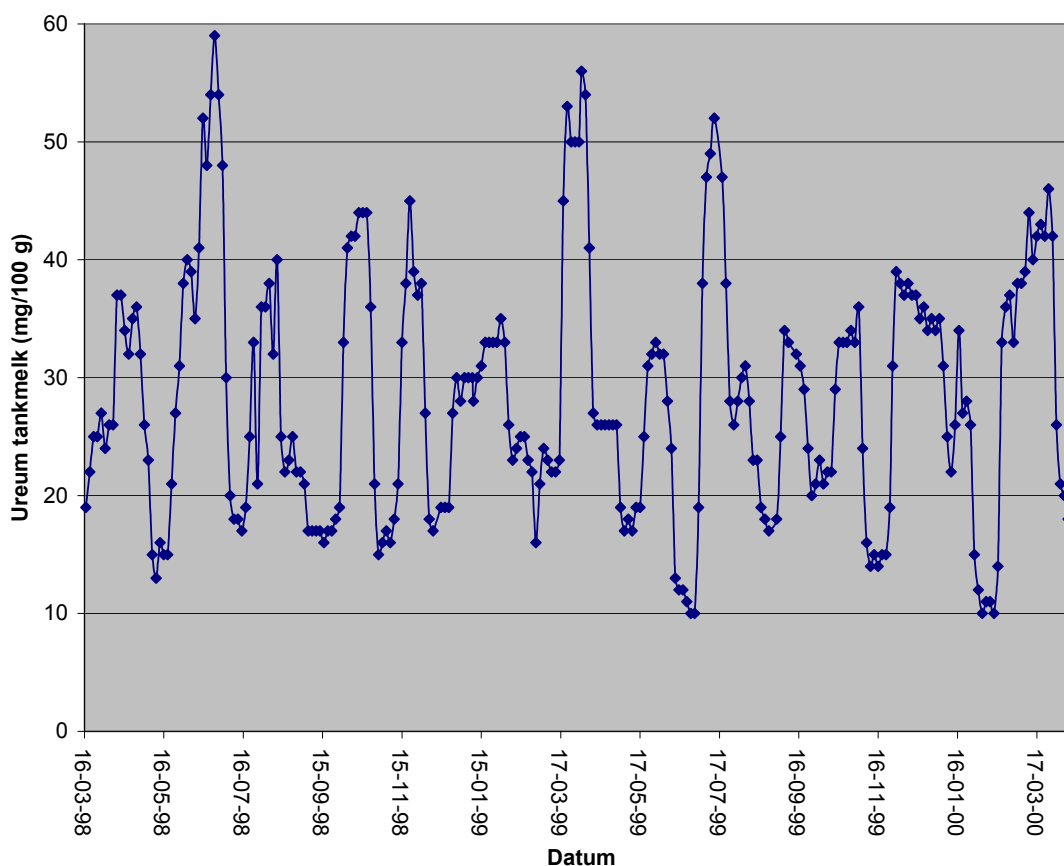
	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	MO	M500	M1000
VEM	110	114	118	127	132	128	111	126	115
DVE	115	141	142	102	120	112	69	79	82
Ca	270	317	331	213	279	278	117	141	134
P	130	136	139	118	126	129	88	99	92
Mg	106	127	129	181	189	182	166	182	154
K	1405	1610	1697	1223	1258	1339	603	673	591
Na	218	284	297	214	221	248	148	187	151

## 4.4 Ureum tankmelk

### 4.4.1 Verloop gedurende de proef

In figuur 9 is het verloop van het ureumgehalte in tankmelk gedurende de proef weergegeven. Duidelijk herkenbaar zijn de drieweekse behandlungsperioden. Per behandeling verspringt het niveau. Bovendien is duidelijk waarneembaar dat de spreiding in het ureumgehalte fors was. Het gehalte loopt uiteen van 10 tot en met 59 mg/100 g melk. De vier opvallende pieken die uitstijgen boven het niveau van 45 mg/100 g zijn telkens gemeten tijdens behandeling M1000.

**Figuur 9** Verloop van het ureumgehalte in tankmelk (mg/100 g) gedurende de proef



### 4.4.2 Model voor het ureumgehalte in tankmelk

Het ureumgehalte in de tankmelk is niet dagelijks bepaald. Bij de statistische analyse is voor het ureumgehalte op de ontbrekende dagen uitgegaan van de eerstvolgende melkleverantie,  $U_t = U_{t+1}$  of  $U_{t+2}$ . Op basis hiervan is een nieuwe reeks gemaakt van gemiddelden per 3 dagen.

Vervolgens is het ureumgehalte in tankmelk gemodelleerd. Begonnen is met een leeg model (F4.1), dit wil zeggen een autoregressief model (AR(1)) voor de beschrijving van de correlaties tussen de waarnemingen op de proefdagen. Daarna is een volledig model aangepast met een kwadratisch responsoppervlak voor OEB en met aandeel snijmaïs (resulteert in model F4.2). De uitdovingsparameters (decay) bleken niet significant van elkaar te verschillen en zijn aan elkaar gelijk gesteld (resulteert in model F4.3). Het kwadratisch effect van OEB was niet significant en is uit het model weggelaten (resulteert in model F4.4) en ook het lineaire effect van aandeel maïs bleek niet significant en is weggelaten (resulteert in het uiteindelijke model F4.5). Een samenvatting van de stapsgewijze analyse is opgenomen in bijlage 4.

De grootte van effecten is grafisch beoordeeld. Tevens is grafisch beoordeeld hoe goed het model past bij de waarnemingen (de "fit" van het model). Hieruit bleek dat het model goed past bij de waarnemingen en dat er slechts geringe afwijkingen van normaliteit zijn. Vanwege de veelheid van informatie met betrekking tot de toegepaste technieken voor modelcontrole zijn de betreffende grafieken, corralogrammen en dergelijke niet aan dit rapport toegevoegd.

De volledige formule voor het uiteindelijk geselecteerde model (F4.5) is:

$$U_p = C + \frac{\omega_1}{1 - \delta B} O_p + \frac{\omega_2}{1 - \delta B} M_p^2 + \frac{\omega_3}{1 - \delta B} O_p M_p + \frac{1}{1 - \phi B} e_p \quad [F4.5]$$

of, indien de parameterschattingen worden ingevuld (model F4.6):

$$U_p = 13,93 + \frac{14,71}{1 - 0,4127 * B} O_p + \frac{4,679}{1 - 0,4127 * B} M_p^2 + \frac{4,11}{1 - 0,4127 * B} O_p M_p + \frac{1}{1 - 0,7806 * B} e_p \quad [F4.6]$$

met:

$U_p$  ureumgehalte in tankmelk in periode p (periode van 3 dagen); (mg/100 g, p=1...255)

$C$  constante

$\phi$  autocorrelatiecoëfficiënt

$a_t \sim N(0, \sigma_a^2)$ , met innovatievariatie  $\sigma_a^2$

$B$  backshift operator,  $B a_t = a_{t-1}$

$O_p$  OEB in periode p (kg/totaal aanwezig dier/dag)

$M_p$  aandeel snijmaïs in periode p (dimensieloos)

$\phi$  autocorrelatiecoëfficiënt,

$e_p$  restvariatie

$\omega$  de parameters voor de grootte van de effecten

$\delta$  de parameters voor de uitdoving (decay) van de effecten (voor uitleg zie bijlage 3).

In de modellen F4.5 en F4.6 wordt de index  $p$  gebruikt, omdat de reeks met ureumgehalten in tankmelk is geaggregeerd tot gemiddelden van 3 opeenvolgende dagen,  $p = 1 \dots 255$ .

Model F4.6 kan worden vereenvoudigd tot een model dat gebruikt kan worden voor het voorspellen van het ureumgehalte uit OEB en snijmaïsaandeel op basis van in de praktijk gebruikelijke eenheden. Dit leidt tot formule F4.7. Daarbij wordt aangenomen dat OEB en snijmaïsaandeel min of meer constant zijn over een periode van enkele dagen.

$$U = 13,93 + 0,02505 * OEB + 7,97 * M * M + 0,00700 * OEB * M \quad [F4.7]$$

met:

$U$  ureumgehalte in tankmelk (mg/100 g)

$OEB$  OEB (g/totaal aanwezig dier/dag)

$M$  Aandeel snijmaïs (hoeveelheid ds snijmaïs/hoeveelheid ds graskuil+snijmaïs, dimensieloos)

Op basis van het model voor voorspelling van het melkureumgehalte van tankmelk (F4.7) zijn een aantal situaties doorgerekend. In tabel 16 staan de predicties voor het ureumgehalte van tankmelk bij uiteenlopende waarden voor OEB en snijmaïsaandeel.



**Tabel 16** Ureumgehalte in tankmelk (mg/100 g) bij 0, 500 en 1000 g OEB per aanwezig dier per dag en bij een snijmaisaandeel van 0, 50 en 100% van de droge stof uit graskuil plus snijmaïs: predicties op basis van het uiteindelijke model F4.6

OEB (g/aanwezig dier/dag)	Snijmaisaandeel		
	0%	50%	100%
0	13,9	15,9	21,9
500	26,5	30,2	37,9
1000	39,0	44,5	53,9

Het ureumgehalte in tankmelk is in tabel 16 hoger naarmate de OEB hoger is. Bovendien blijkt het ureumgehalte in tankmelk hoger bij een hoger aandeel snijmaïs. Dit laatste verband bleek echter niet causaal, maar samen te hangen met de DVE-opname. Het aandeel snijmaïs en de DVE-opname waren in de proef namelijk positief gecorreleerd. In paragraaf 5.2.3 wordt hier verder op ingegaan.

#### 4.5 Melkproductie

De melkgift en de melksamenstelling van de koppel variëren onder invloed van een groot aantal factoren waaronder veestapelkenmerken (zoals lactatiestadium en leeftijdsopbouw), voeding, seizoensinvloeden (o.a. hitte en koude) en management. Het verloop van de gemiddelde melkgift (kg/melkgevende koe/dag) en de gehalten aan melkvet en -eiwit gedurende de proef is weergegeven in respectievelijk figuur 10 en figuur 11. Aanvullend is in tabel 17 de gemiddelde melkgift en de (op basis van de melkgift) gewogen gemiddelde melksamenstelling (percentage vet en eiwit) per behandeling vermeld. Uit de gemiddelde melkgift en de melksamenstelling is de gemiddelde dagelijkse productie van melkvet en -eiwit, uitgedrukt in g/melkgevende koe/dag, en de FPCM (kg/melkgevende koe/dag) berekend. De uitkomsten zijn eveneens vermeld in tabel 17. FPCM is Fat and Protein Corrected Milk Production en is berekend met de formule:

$$\text{FPCM} = (0,337 + 0,116 * \%F + 0,06 * \%P) * M \quad [\text{F5}]$$

met:

FPCM fat and protein corrected milk (kg/dier/dag)

M werkelijke melkgift (kg/dier/dag)

%F vetpercentage

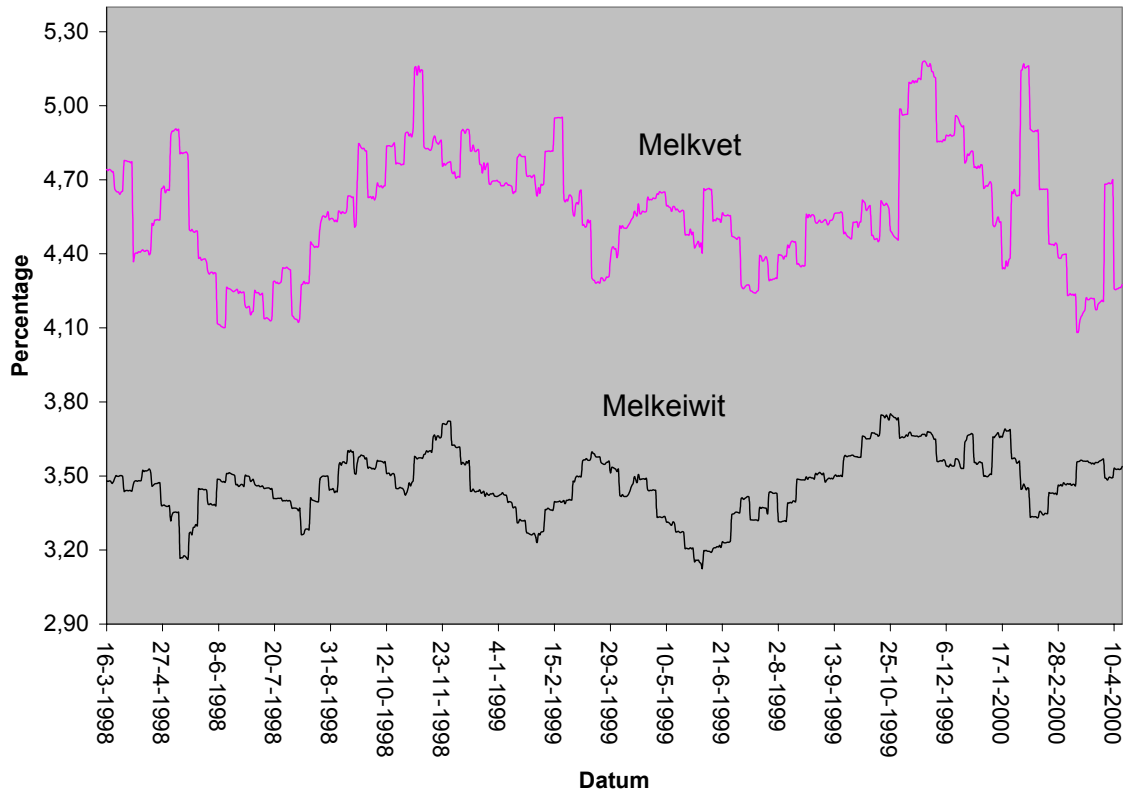
%P eiwitpercentage

**Tabel 17** Gemiddelde melkgift (kg/melkgevende koe/dag) en de, op basis van de melkgift, gewogen gemiddelde melksamenstelling (percentage vet en eiwit) per behandeling. Gemiddelde dagelijkse productie van FPCM (kg/melkgevende koe) en melkvet en -eiwit (g/melkgevende koe) per behandeling

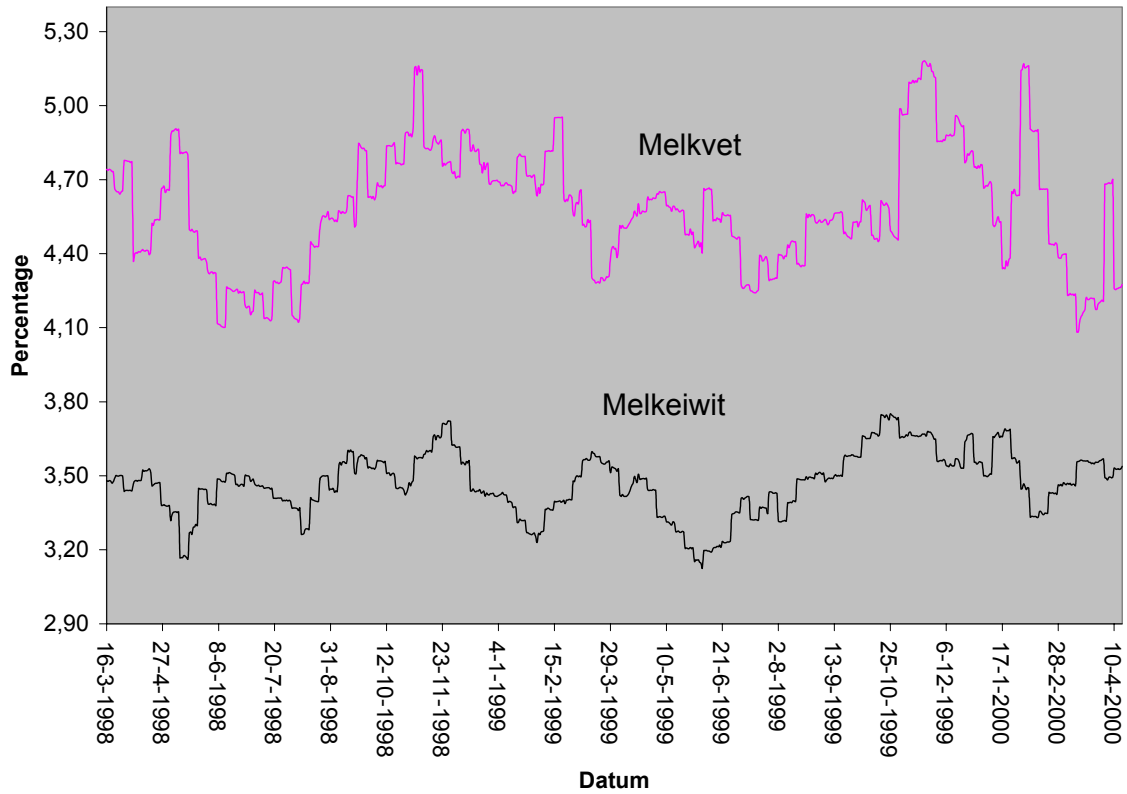
	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
Melkgift	27,0	27,9	27,8	28,7	29,9	30,8	30,9	29,4	30,9
Vet %	4,83	4,64	4,62	4,83	4,59	4,58	4,38	4,46	4,28
Eiw %	3,32	3,33	3,42	3,49	3,47	3,48	3,51	3,62	3,47
Vet g	1302	1293	1283	1389	1373	1409	1350	1310	1321
Eiw g	896	930	951	1002	1038	1072	1083	1063	1072
FPCM	29,6	30,0	30,0	31,8	32,2	33,2	32,6	31,5	32,2

Uit tabel 17 blijkt dat de gemiddelde melkgift het laagst is bij de rantsoenen zonder snijmaïs. Dit houdt verband met de lagere opname aan energie bij deze rantsoenen (zie paragraaf 4.2) en met de lagere opname aan glucogene nutriënten (met name zetmeel) die de melkgift stimuleren. Dit laatste draagt er tevens aan bij dat de melkeiwitproductie en het melkeiwitgehalte lager zijn bij rantsoenen zonder snijmaïs. Bij rantsoenen met een relatief laag aanbod aan glucogene nutriënten (denk aan graskuilrantsoenen) worden namelijk glucogene aminozuren verbruikt als energiebron. Hierdoor zijn minder aminozuren over als bouwstenen voor melkeiwitvorming.

**Figuur 10** Verloop van de gemiddelde dagelijks melkgift (kg/melkgevende koe) gedurende de proef



**Figuur 11** Verloop van de gehalten aan vet en eiwit (%) in de melk gedurende de proef



## 4.6 Urinesamenstelling en -productie

### 4.6.1 Urinesamenstelling

De urinesamenstelling bepaalt in sterke mate de ammoniakemissie vanaf de stalvloer. Daarnaast bepaalt de urine mede de samenstelling van de toplaag van de mest in de kelder en die van de mengmest (Monteny, 2000). In tabel 18 is de gemiddelde urinesamenstelling per behandeling weergegeven.

**Tabel 18** Gemiddelde urinesamenstelling per behandeling (behandelingsgemiddelden van periodegemiddelden)

	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
Ureum-N (g/l)	2,4	4,0	5,1	3,3	5,4	6,6	5,3	9,3	11,3
Totaal N (g/kg)	4,2	5,7	6,5	5,4	7,7	8,8	8,7	12,3	13,8
Ureum-N : totaal N (%)	56	70	77	60	69	75	60	75	82
PH	8,4	8,4	8,5	8,3	8,3	8,5	8,3	8,3	8,3
Na (g/l)	0,80	1,11	1,02	1,17	1,10	1,06	1,15	0,71	0,56
K (g/l)	14,9	13,3	12,7	14,0	13,7	12,2	11,8	10,9	8,8

Uit tabel 18 blijkt dat de ureumstikstof- en totaalstikstofconcentraties toenemen met het OEB-niveau. Tevens blijkt dat deze concentraties bij een gegeven OEB-niveau het hoogste zijn bij het ruwvoertype snijmaïs en het laagste bij het ruwvoertype graskuil; GM neemt een middenpositie in. Het percentage van de stikstof dat als ureum-N wordt uitgescheiden, is bij alle ruwvoertypen hoger naarmate het OEB-niveau hoger is.

De pH van de urine is bij G op de OEB-niveaus 0 en 500 gemiddeld 0,1 eenheid lager dan bij GM en M op dezelfde OEB-niveaus. De Natriumconcentratie is bij M op de OEB-niveaus 500 en 1000 duidelijk lager dan bij G en GM op dezelfde OEB-niveaus. De kaliumconcentratie is bij M op alle OEB-niveaus beduidend lager dan bij G en GM op dezelfde OEB-niveaus.

Met graskuil wordt in het algemeen veel meer kalium opgenomen dan met maïs. Het overschot aan verteerde kalium wordt via de nieren in de urine uitgescheiden. De nieren kunnen kalium maar in een beperkte mate concentreren. Daardoor neemt het urinevolume bij graskuilrantsoenen toe in vergelijking met rantsoenen met gedeeltelijk of volledig snijmaïs als ruwvoer. Dit resulteert in een verdunningseffect: de concentratie van ureum en totaal stikstof is daardoor bij graskuilrantsoenen lager dan bij gras/maïs- en maisrantsoenen op hetzelfde OEB-niveau.

### 4.6.2 Urineproductie

Op basis van regressieformules van Bannink *et al.* (1999) kan het geproduceerde urinevolume berekend worden als functie van de berekende overmaat van kalium, natrium en stikstof. Van de opgenomen hoeveelheden (tabel 10) wordt het verteerde deel berekend met een regressieformule per mineraal. Ook het deel van de mineralen dat via de melk wordt uitgescheiden wordt met een regressieformule per mineraal berekend. Dit uitgaande van de melkproductie zoals vermeld in tabel 17. In tabel 19 zijn voor lacterende dieren en droogstaande dieren de aldus geschatte urineproducties weergegeven per proefbehandeling. De regressieformules van Bannink zijn gebaseerd op gegevens van lacterende dieren. Hier zijn ze ook toegepast op gegevens van droogstaande dieren.

**Tabel 19** Per proefbehandeling, de regressieschattingen volgens Bannink et al. (1998) van de Urineproductie voor lacterende dieren en droogstaande dieren, uitgaande van de voeropname zoals vermeld in tabel 10 en de melkproductie zoals vermeld in tabel 17. Ter vergelijking zijn ook schattingen van urineproducties weergegeven die gebaseerd zijn op de berekende kaliumovermaat in het rantsoen en het steekproefsgewijs bepaalde kaliumgehalte in de urine, zoals eerder toegepast door Smits et al. (1996)

Schattingwijze	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
Bannink et al									
Lacterend (l/d)	30	34	37	30	30	32	20	21	21
droogstaand (l/d)	20	25	25	19	19	20	11	12	11
Smits et al									
Lacterend (l/d)	25	32	37	26	26	30	18	20	23
droogstaand (l/d)	17	24	25	16	17	20	10	11	13

Aangezien de gehalten van een aantal mineralen in de urine bekend zijn (tabel 18), kan het urinevolume ook geschat worden als de uit te scheiden hoeveelheid van deze mineralen goed ingeschat kan worden (Smits *et al.*, 1996). De uit te scheiden hoeveelheid hangt af van de opname, de vertering, de uitscheiding met de melk en de eventuele retentie in het lichaam. Kalium heeft in het algemeen een vrij constante en hoge verteringscoëfficiënt (ca. 90%) en er wordt ook een vrij constante hoeveelheid per liter melk uitgescheiden (ca 2 g K per liter melk). De retentie in het lichaam wordt hier verondersteld verwaarloosbaar te zijn. Hiervan uitgaande is ook een schatting van het urinevolume gemaakt. Deze schattingsmethode laat wat grotere verschillen in urinevolumes tussen de behandelingen (vooral tussen OEB-niveaus) zien dan die volgens de regressieformules van Bannink; de orde van grootte komt echter redelijk overeen. Hierna zal uitgegaan worden van het berekende urinevolume volgens Bannink *et al.* (1999). Voor een deel van de proef zijn urineproductiegegevens in meer detail bestudeerd en beschreven in een artikel van De Boer *et al.* (2002). In paragraaf 6.3 wordt het urinevolume nader bediscussieerd.

## 4.7 Mestsamenstelling en -productie

### 4.7.1 Toplaag mestkelder

De samenstelling van de toplaag in de mestkelder bepaalt in sterke mate de ammoniakemissie vanuit de mestkelder (Monteny, 2000). In tabel 20 is de gemiddelde samenstelling van de toplaag van de mest in de kelder per behandeling weergegeven. De toplaag wordt vrijwel continu verversd door nieuwe urinelozingen en defaecaties. In de derde week van elke behandeling (proefperiode) zal een dier voedingsfysiologisch (en dus ook de excretie via mest en urine) vrijwel volledig zijn aangepast aan het bijbehorende rantsoen. Aan het einde van een proefperiode van drie weken geeft de toplaag daarom naar verwachting een goed beeld van het behandelingseffect.

**Tabel 20** Gemiddelde samenstelling van de toplaag van de mest in de kelder aan het einde van de proefperiodes: per behandeling

	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
pH toplaag	7,9	7,7	7,7	7,6	7,6	7,5	7,7	7,6	7,5
Totaal-N (g/kg)	4,3	4,8	5,3	4,3	4,8	5,2	4,3	4,8	4,7
Ammonium-N (g/l)	1,2	1,5	2,0	1,3	1,8	1,9	1,6	2,1	2,0
Ds (g/kg)	118,4	122,9	119,2	108,3	109,0	118,8	109,0	107,6	110,8

De pH van de toplaag in de mestkelder is bij de G-rantsoenen enkele tienden eenheden hoger dan bij de GM- en M-rantsoenen op dezelfde OEB-niveaus. Een 0,1 eenheid hogere pH kan al een substantieel hogere ammoniakemissie tot gevolg hebben (Monteny, 2000).

De ammonium-N en totaal-N gehalten in de toplaag van de mestkelder nemen toe met het OEB-niveau, behalve bij M1000. Het ammoniumgehalte is bij de OEB-niveaus 0 en 500 het laagste bij graskuil en het hoogste bij snijmaïs; de ammoniumgehalten bij GM liggen tussen die van G en M.

#### 4.7.2 Mengmestsamenstelling

In tabel 21 is de gemiddelde samenstelling van de mengmest per behandeling weergegeven. De samenstelling van de mengmest aan het einde van een proefperiode werd mede bepaald door de mestsamenstelling in de voorgaande proefperiode(n). Dit vanwege het achterblijven van 75 cm mest in de kelder na het overpompen na elke proefperiode.

**Tabel 21** De gemiddelde samenstelling van de mengmest per behandeling

Mengmest	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
(n periodes)	(4)	(4)	(3)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)
totaal-N (g/kg)	4,0	4,1	4,2	4,0	4,2	4,1	4,0	4,1	4,2
Ammonium-N (g/l)	2,0	2,1	2,2	2,0	2,2	2,2	2,1	2,2	2,2
pH	7,3	7,4	7,5	7,4	7,4	7,4	7,3	7,4	7,3
DS (g/kg)	78,7	81,8	76,2	76,7	77,6	78,0	80,7	77,3	82,2
Na (g/kg)	0,60	0,45	0,61	0,61	0,60	0,73	0,56	0,57	0,57
K (g/kg)	4,6	4,5	4,7	4,5	4,4	4,7	3,9	4,4	4,0

Bij GM500 is de 1<sup>e</sup> proefperiode niet in het gemiddelde betrokken vanwege een afwijkende verhouding tussen ammonium N en totaal N. Het totaal N gehalte was aan het einde van de eerste periode 20 a 25% hoger dan in de 4 latere perioden waarin GM500 is onderzocht.

Uit tabel 21 blijkt dat de verschillen in mengmestsamenstelling tussen de proefbehandelingen klein zijn. Bij hogere OEB-niveaus tenderen de ammoniumstikstof- en totaalstikstofgehalten wel naar hogere waarden. Aan het eind van een periode is gemiddeld ruim 80% van het mengmestvolume nog afkomstig uit de voorgaande periode(n).

Daardoor worden de voereffecten op de gehalten in de mengmest sterk genivelleerd. Aangezien de urinesamenstelling en de samenstelling van de toplaag in de mestkelder zich wel aanpassen bij een nieuw rantsoen en deze vooral bepalend zijn voor de emissie, is de invloed van de voervarianten op de emissie ondanks de vrij constante mengmestsamenstelling toch goed meetbaar.

#### 4.7.3 Mestproductie

**Tabel 22** Gemiddelde mengmestproductie per behandeling (per koe, l/dag). De bruto productie is bepaald aan de hand van de toename van het mestpeil in de mestkelder per proefperiode en de oppervlakte van de kelder. De netto mengmestproductie is bepaald door van de bruto productie het gemeten verbruik van afvalwater af te trekken

	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
Bruto	89	100	98	89	87	92	80	84	89
Netto <sup>1)</sup>	68	79	76	67	66	71	62	63	69

<sup>1)</sup> exclusief verdamping van water en andere gasvormige verliezen

Op de grasrantsoenen is de mengmestproductie het hoogst; op de maïsrantsoenen het laagst. Bij het hoogste OEB-niveau is de mengmestproductie hoger dan bij het laagste OEB niveau. Voor het middelste OEB-niveau is er geen eenduidig verschil ten opzichte van het lage en het hoge OEB-niveau. Doordat uit de mengmest water kan verdampen en andere gasvormige emissies op kunnen treden, zijn de feitelijke dierlijke mengmestproducties (urine + faeces) waarschijnlijk wat hoger dan de in tabel 22 vermelde netto mengmestproducties. Verder zal de mestproductie van lacterende dieren wat hoger zijn dan het gemiddelde en die van droogstaande dieren wat lager zijn dan het gemiddelde. Om mestproducties nauwkeurig vast te stellen, zijn balansproeven noodzakelijk. De hier vermelde waarden zijn niet geschikt voor voedingsfysiologische berekeningen, maar geven wel een indicatie voor de benodigde mestopslagcapaciteit van een hoogproductieve melkveestapel. De gemeten verschillen tussen de rantsoenen zijn klein.

## 4.8 Waterverbruik

Gedurende de proef werd het waterverbruik in de stal geregistreerd. In de stal is uitsluitend leidingwater gebruikt, zowel voor drinkwater als voor reiniging. Een gedeelte van het water kwam terecht in de mestkelder, namelijk: afvalwater van de reiniging van melkwinningsapparatuur, water om de melkstal en de afkalfstal schoon te spuiten, morswater van de koeien en water van een toilet en enkele wasbakken. Het toevoegen van dit afvalwater aan de mestopslag vergroot de totale hoeveelheid mengmest. Ook wordt de mest verdund.

Het waterverbruik is geregistreerd met een hoofdmeter en via een aantal watermeters die deelstromen registreren. Het totale waterverbruik in gehele proef (waterregistratie tussen 17 maart 1998 en 17 april 2000) is 5351 m<sup>3</sup> volgens de hoofdmeter. Gemeten met de afzonderlijke watermeters blijkt een totaal waterverbruik van 5211 m<sup>3</sup> in diezelfde periode. Het verschil tussen het totaal van de hoofdmeter en het totaal van de afzonderlijke watermeters is 140 m<sup>3</sup> en is te verklaren door het verbruik van water door een aantal niet gemeten objecten, o.a. het toilet, een wasbak bij de ingang en spoelwater voor de afkalfstal. In het verschil zitten ook de eventuele afwijkingen van alle watermeters als gevolg van onnauwkeurigheid en defecten.

Gedurende de volledige meetperiode kwam 885 m<sup>3</sup> water in de mestopslag terecht. Dit komt overeen met 1,17 m<sup>3</sup> per dag en 20,6 liter per koe per dag. De bijdrage van het spoel- en spuitwater van de melkinstallatie en de melkstal aan deze toestroom naar de mestopslag bedroeg 17,4 liter per koe per dag. Dit is iets meer dan de streefwaarde van 15 liter per koe per dag die aangehouden werd.

Op het "Voer- en emissiebedrijf" werd vanaf 9 december 1999 gebruik gemaakt van zogenaamde standaard reiniging van de melkinstallatie. Hierbij wordt voor elke spoelgang schoon water gebruikt. In de periode voorafgaand aan 9 december 1999 werd gebruik gemaakt van een waterbesparende spoelautomaat. Gedurende de volledige meetperiode werd 3740 m<sup>3</sup> water verbruikt als drinkwater in de melkveestal. Dit is gemiddelde 4,9 m<sup>3</sup> per dag en 87,6 liter per koe per dag. In tabel 23 is het gemiddelde drinkwaterverbruik per behandeling weergegeven.

In totaal werd gedurende de meetperiode 585 m<sup>3</sup> water gebruikt buiten de melkveestal als drinkwater voor het jongvee, spoelwater voor de jongveestal of spoelwater buiten.

**Tabel 23** Gemiddeld waterverbruik (l/koe/dag) per behandeling: afvalwater dat in de mestkelder terechtkomt en drinkwater

	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
Afvalwater in kelder	20,5	21,3	21,7	21,7	21,6	19,6	18,6	20,9	19,1
Drinkwater	94,6	100,0	84,8	89,2	91,7	86,2	81,1	76,2	92,0

Uit tabel 23 blijkt dat de hoeveelheid afvalwater bij de verschillende behandelingen vrijwel gelijk is. De hoeveelheid drinkwater daarentegen varieert per behandeling. Bij de graskuilrantsoenen is de wateropname gemiddeld het hoogst en bij de snijmaïsrantsoenen het laagst.

#### 4.9 Lichaamsgewicht

In figuur 12 is een overzicht gegeven van het verloop van het gemiddelde lichaamsgewicht per koe gedurende de proef. In tabel 24 is aangegeven wat het gemiddelde lichaamsgewicht per behandeling is. Deze vertoont weinig variatie.

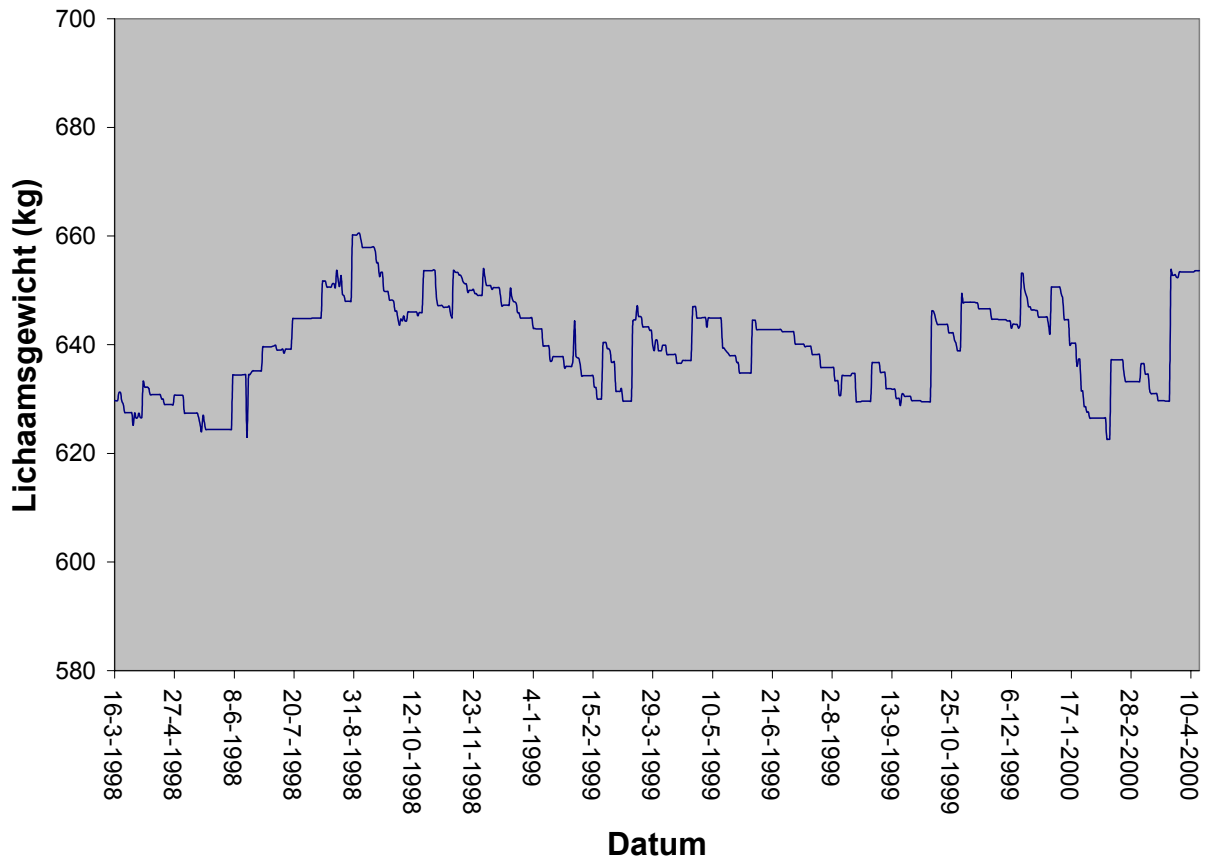
Omdat weging van de koeien telkens slechts plaats vond in de tweede week van elke behandeling, is het niet mogelijk om de gewichtsverandering gedurende een behandeling vast te stellen.

Het gemiddelde lichaamsgewicht per koe per dag vertoont slechts een beperkte variatie gedurende het verloop van de proef. Globaal liggen de gemiddelde waarden tussen 620 en 660 kg/koe. Een belangrijk deel van de variatie hangt samen met de leeftijdsopbouw van de veestapel en het gemiddeld aantal drachtdagen. Ook heeft de energiebalans van de koeien gevolgen voor de mate waarin sprake is van groei (positief of negatief) van de koeien.

**Tabel 24** Gemiddeld lichaamsgewicht (kg/koe) van de aanwezige koeien per behandeling

	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
Gewicht	637	641	644	650	635	636	640	641	638

**Figuur 12** Verloop van het gemiddelde lichaamsgewicht per aanwezige koe gedurende de proef



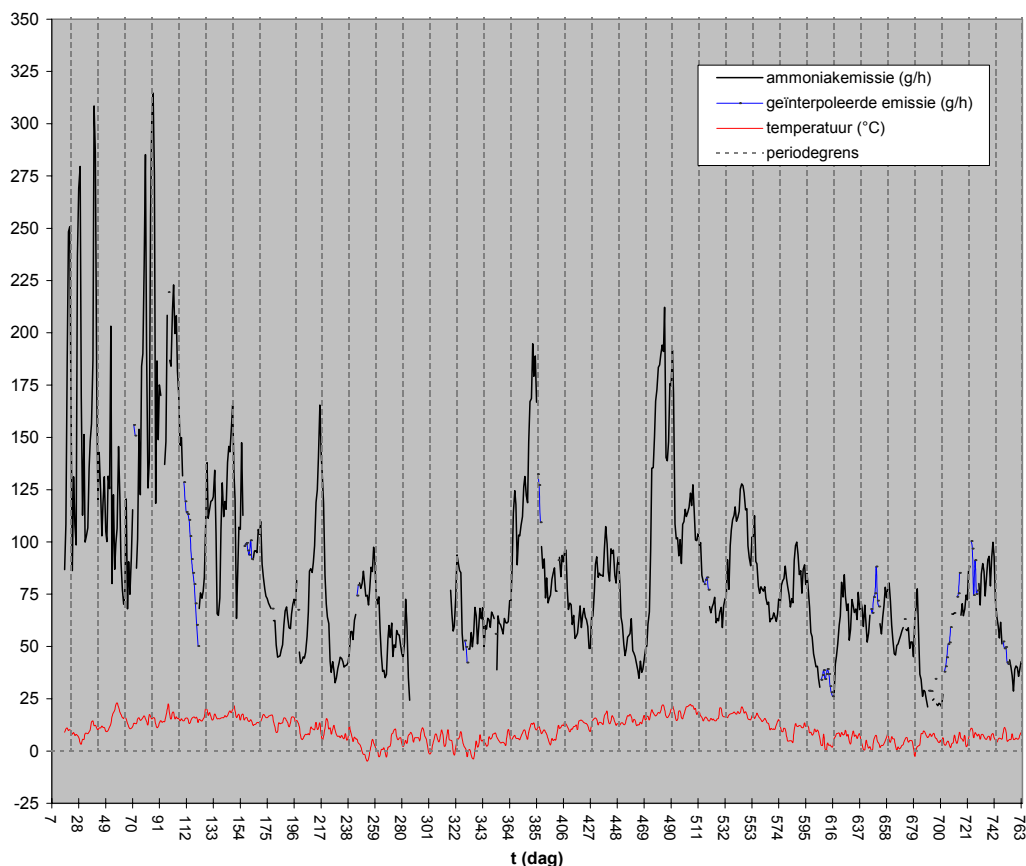
## 5 Resultaten ammoniakemissie

Dit hoofdstuk gaat in op de resultaten van de ammoniakemissiemetingen uit de stal. De gemeten emissie en enkele gefitte emissiemodellen komen aan de orde. Ook het effect van mest mixen op de ammoniakemissie wordt beschreven.

### 5.1 Ammoniakemissie metingen

De ammoniakemissie vanuit de stal is semi-continu gemeten. In figuur 13 is het verloop van de (per dag gemiddelde) ammoniakemissie (g/h = g/uur) en temperatuur (°C) weergegeven. In de eerste vijf proefperioden functioneerde de meetapparatuur niet goed. Dit resulteerde in grote fluctuaties met hoge uitschieters in de emissiegegevens. In periode (behandeling) 6 is de meetapparatuur vervangen. Daarna functioneerde de meetapparatuur meestal goed. Door stroomstoringen en andere technische oorzaken werd de emissie soms gedurende een langere aaneengesloten periode niet goed gemeten. De betreffende proefbehandeling werd dan later nogmaals gedurende drie weken toegepast. Als de metingen slechts een korte tijd onderbroken werden of in de eerste of tweede week van een proefbehandeling uitvielen, werd de emissie met een combinatie van tijdreeksanalyse en regressieanalyse geïnterpoleerd.

**Figuur 13** Verloop van de per dag gemiddelde stalemissie van ammoniak (g/h = g/uur) en de staltemperatuur



De waargenomen ammoniakemissie is 's zomers veelal hoger dan 's winters. In eerste instantie lijkt de ammoniakemissie in figuur 13 vrij grillig te verlopen. Dit wordt onder meer veroorzaakt door wisselende weersomstandigheden en wisselende proefbehandelingen. Bij nadere beschouwing van de figuur lijken een aantal forse behandelingseffecten waarneembaar. Daling van de OEB gaat in de meeste gevallen gepaard met een zichtbare daling van de ammoniakemissie; stijging van de OEB gaat in de meeste gevallen gepaard met een zichtbare stijging van de emissie.



De grootste absolute stijgingen zijn zichtbaar na overschakeling van een rantsoen met OEB = 0 naar een rantsoen met OEB = 1000:

- dag 196-217(van GM0 naar GM1000)
- dag 364-385(van M0 naar M1000)
- dag 469-490(van G0 naar M1000)

De grootste dalingen zijn zichtbaar na overschakeling van een rantsoen met OEB = 1000 naar een rantsoen met OEB = 0:

- dag 217-238(van GM1000 naar G0)
- dag 742-763(van M1000 naar M0)

Voor het aantonen van een relatie tussen voeding (OEB en aandeel snijmaïs) en ammoniakemissie is een statistische analyse noodzakelijk. Via een tijdreeksanalyse (dynamische regressie) kan correctie voor “storende invloeden”, zoals weersomstandigheden, plaatsvinden.

De volgende dynamische regressiemodellen voor ammoniakemissie vanuit de stal zijn afgeleid:

- een model voor ammoniakemissie op basis van voedingsparameters en temperatuur (paragraaf 5.2)
- een model voor ammoniakemissie op basis van het ureumgehalte in tankmelk en temperatuur (paragraaf 5.3)

Aanvullend is het effect van mestmixen en overpompen op de ammoniakemissie gemodelleerd.

## 5.2 Model voor ammoniakemissie op basis van voedingsparameters en temperatuur

### 5.2.1 Databeschrijving

De gegevensset voor modellering van de ammoniakemissie bestaat uit een reeks van 763 dagelijkse

emissiemetingen  $Y_t$  (g NH<sub>3</sub> per dag). De analyse is uitgevoerd op de logaritme van de getransformeerde serie (Ln g NH<sub>3</sub> per dier in de stalperiode = 190 dagen).

Dag 1 komt overeen met 16 maart 1998 en is het begin van de proef. Dag 763 komt overeen met 16 april 2000 en is het einde van de proef. De emissiemetingen zijn gestart op dag 17, dat is 1 april 1998. Vanaf dag 94 is een andere meetshelter gebruikt, omdat gebleken was dat de waarnemingen van de oorspronkelijke ingezette shelter afwijkend waren van de verwachting. Tot dag 94 bleek er een afwijking in niveau en variantie van de meetwaarden te zijn. De variantie op basis van de eerste shelter bleek na analyse ongeveer 9 maal zo groot te zijn als de variantie op basis van de tweede shelter, en daarom zijn de emissie-waarnemingen tot dag 94 gewogen meegenomen in de statistische analyse met een wegingsfactor van 0,111. Aanvullende argumenten om de gegevens van de eerste shelter wél in de statistische analyse te betrekken, werden verkregen door een aanvullend emissiemodel af te leiden op basis van een gereduceerde dataset, waarbij alleen de waarnemingen van de tweede shelter (d.w.z. na dag 94) zijn meegenomen. Vanwege de veelheid aan statistische gegevens is dit model niet in dit rapport beschreven. Het bleek echter dat de parameterschattingen goed vergelijkbaar zijn met die van de emissiemodellen op basis van de volledige dataset (dus inclusief data van de eerste shelter), echter de standaardfouten van het model op basis van de gereduceerde dataset zijn groter. De waarnemingen van de eerste shelter zijn daarom wel in de statistische analyse betrokken, maar met een veel kleiner gewicht dan de waarnemingen van dag 95 tot en met dag 763. Waarnemingen op 25 en 26 december 1998 zijn uitgesloten omdat er een storing was opgetreden in het meetsysteem. In totaal waren er 131 missende waarnemingen van de 763. Dit betekent een score van 82,8% aanwezige waarnemingen, hetgeen goed is in vergelijking tot emissiemetingen op andere locaties, die veelal van kortere duur zijn (Smits, 2001, persoonlijke mededeling).

De covariabelen temperatuur, windrichting, windsnelheid en dag in de week zijn dagelijks gemeten. Ontbrekende waarnemingen zijn ingeschat door lineaire interpolatie. Temperatuur en windsnelheid zijn in de modellen opgenomen als resp.:  $T_t = \text{temperatuur} - 15$  en  $W/S_t = \text{Windsnelheid} - 4,1$ . Dat wil zeggen dat in de modellen is gestandaardiseerd voor een temperatuur van 15 °C en een windsnelheid van 4,1 m/s.

### 5.2.2 Stapsgewijze modellering

In bijlage 4 is een samenvatting gegeven van de resultaten van de stapsgewijze modellering van de ammoniakemissie. Begonnen is met een leeg model (formule F3.1) voor schatting van de ammoniakemissie. Het volledige model is vervolgens in twee stappen verkregen. Eerst door opnemen van de (storende) variabelen voor shelter ( $S_t$ ), temperatuur ( $T_t$ , lineair en kwadratisch), windrichting (cyclometrische functies  $Wr_t$ ), windsnelheid ( $Ws_t$ , lineair en kwadratisch) en dag in de week (cyclometrische functie  $D_t$ ). Dit resulteert in model F6.1. Daarna zijn de termen voor een kwadratisch responsoppervlak voor OEB ( $O_t$ ) en aandeel snijmaïs ( $M_t$ ) toegevoegd. Dit resulteert in een volledig model F6.2, met de formule:

$$\begin{aligned}
 Z_t = & C + \omega_1 S_t + \omega_{21} T_t + \omega_{22} T_t^2 + \omega_{31} \cos\left(\frac{2\pi Wr_t}{360^\circ}\right) + \omega_{32} \sin\left(\frac{2\pi Wr_t}{360^\circ}\right) + \omega_{33} \cos\left(\frac{2\pi Wr_t}{180^\circ}\right) + \\
 & \omega_{34} \sin\left(\frac{2\pi Wr_t}{180^\circ}\right) + \omega_{41} Ws_t + \omega_{42} Ws_t^2 + \omega_{51} \cos\left(\frac{2\pi D_t}{7}\right) + \omega_{52} \sin\left(\frac{2\pi D_t}{7}\right) + \\
 & \frac{\omega_{61}}{1 - \delta_6 B} M_t + \frac{\omega_{62}}{1 - \delta_6 B} M_t^2 + \frac{\omega_{71}}{1 - \delta_7 B} O_t + \frac{\omega_{72}}{1 - \delta_7 B} O_t^2 + \frac{\omega_8}{1 - \delta_8 B} O_t M_t + \frac{1}{1 - \phi B} a_t
 \end{aligned} \quad [F6.2]$$

met:

- $Z_t$  natuurlijke logaritme van de ammoniakemissie (respons) op dag  $t$ ,  $t = 0 \dots 762$ , (kg NH<sub>3</sub>/dier/stalperiode van 190 dagen)
- $C$  constante
- $S_t$  index voor shelter op dag  $t$  (1 = eerste shelter, 0 = tweede shelter)
- $T_t$  (temperatuur – 15) op dag  $t$  (°C)
- $Wr_t$  windrichting op dag  $t$  (°)
- $Ws_t$  (windsnelheid – 4,1) op dag  $t$  (m/s)
- $D_t$  dag in de week op dag  $t$  (1 = maandag, 2 = dinsdag, ..., 7 = zondag)
- $O_t$  OEB op dag  $t$  (kg/aanwezig dier/dag)
- $M_t$  snijmaïsaandeel op dag  $t$  (hoeveelheid ds snijmaïs/hoeveelheid ds graskuil+snijmaïs, dimensieloos)
- $\phi$  autocorrelatiecoëfficiënt,
- $a_t \sim N(0, \sigma_a^2)$  innovatieeffect met innovatievariantie  $\sigma_a^2$
- $B$  backshift operator,  $BX_t = X_{t-1}$
- $\omega$  de parameters voor de grootte van de effecten
- $\delta$  de parameters voor de uitdooeffecten (decay: voor uitleg zie bijlage 3).

Toevoeging van de klimaatsvariabelen, shelter en dageffect geeft een verlaging van 133 voor het criterium bij 11 vrijheidsgraden,  $P(\chi_{11d.f.}^2 > 133) < 0,001$ . Het criterium werd verder verlaagd door toevoeging van de termen voor het behandelingseffect met 158 bij 8 vrijheidsgraden,  $P(\chi_{8d.f.}^2 > 158) < 0,001$ . In beide gevallen is er dus sprake van een significante invloed, maar uit de t-waarden blijkt dat niet alle termen significant zijn. Het model is daarom vereenvoudigd door weglating van niet significante termen, achtereenvolgens: interactie OEB met aandeel snijmaïs (resulteert in model F6.3), kwadratisch effect van aandeel snijmaïs (resulteert in model F6.4), kwadratisch effect van windsnelheid (resulteert in model F6.5) en kwadratisch effect van temperatuur (resulteert in model F6.6). Verder is verondersteld dat de uitdoofparameters voor OEB en aandeel maïs gelijk waren (resulteert in model F6.7) en is de niet significante term dageffect weggelaten (resulteert in model F6.8). Weglaten van effect van windrichting (model F6.9) en lineair effect van windsnelheid (model F6.10) laat zien dat deze effecten significant zijn. Op grond hiervan zouden deze effecten in het model gehandhaafd mogen worden, hetgeen zou resulteren in model F6.8. Echter, omdat het eenvoudiger model zonder windsnelheid en windrichting

effecten (model F6.10) marginaal verschilt van model F6.8 en van het volledige model (voor wat betreft totale residuele variantie en percentage verklaarde variantie) is gekozen voor model F6.10 als uiteindelijk model.

Het uiteindelijk geselecteerde model F6.10 is als volgt (voor verklaring van termen zie formule F6.2):

$$Z_t = C + \omega_1 S_t + \omega_2 T_t + \frac{\omega_6}{1 - \delta B} M_t + \frac{\omega_{71}}{1 - \delta B} O_t + \frac{\omega_{72}}{1 - \delta B} O_t^2 + \frac{1}{1 - \phi B} a_t \quad [\text{F6.10}]$$

Het weglaten van de niet significante termen betekende een reductie van het criterium met 10,93 bij 13 vrijheidsgraden t.o.v. het volledige model F6.2,  $P(\chi_{13d.f.}^2 > 2,14) = 0,9997$ . Dat betekent dat dit model niet significant afwijkt van het volledige model. Merk daarbij op dat de schattingen voor de varianties,  $\phi$  en het percentage verklaarde variantie ook goed overeenkomen.

Van dit model zijn grafieken gemaakt ter illustratie van de effecten en ter controle van de modelveronderstellingen. Uit deze grafieken bleek dat het model (F6.10) goed bij de waarnemingen past en dat er geen sprake is van grote afwijking van normaliteit. Uit beoordeling van opgestelde correllogrammen bleek dat toepassing van het dynamisch regressiemodel goed voldoet. Vanwege de veelheid van de informatie met betrekking tot de toegepaste technieken voor modelcontrole zijn de betreffende grafieken, correllogrammen en dergelijke niet aan dit rapport toegevoegd.

In het uiteindelijke model F6.10 zijn de parameterschattingen ingevuld, hetgeen leidt tot formule F6.11 (voor verklaring van termen zie formule F6.2):

$$Z_t = 1,3199 + 0,518 * S_t + 0,02716 * T_t + \frac{0,0956}{1 - 0,7452 * B} M_t + \frac{0,3353}{1 - 0,7452 * B} O_t - \frac{0,1256}{1 - 0,7452 * B} O_t^2 + \frac{1}{1 - 0,8405 * B} a_t \quad [\text{F6.11}]$$

Model F6.11 kan worden vereenvoudigd tot een model dat gebruikt kan worden voor het voorspellen van de stalemissie van ammoniak uit temperatuur, OEB en snijmaïsaandeel op basis van in de praktijk gebruikelijke eenheden. Dit leidt tot een combinatie van formules F6.12a en F6.12b.

$$\text{Stalemissie (kg NH}_3\text{/dier/stalperiode van 190 dagen)} = e^Z \quad [\text{F6.12a}]$$

met:

$$Z = 1,3199 + 0,02716 * (\text{TEMP} - 15) + 0,3752 * M + 1,3159 * (\text{OEB}/1000) - 0,4929 * (\text{OEB}/1000) * (\text{OEB}/1000) \quad [\text{F6.12b}]$$

met:

Z natuurlijke logaritme van de ammoniakemissie vanuit de stal  
(kg NH<sub>3</sub>/dier/stalperiode van 190 dagen)

TEMP temperatuur (°C)

OEB OEB (g/totaal aanwezig dier/dag)

M Aandeel snijmaïs (hoeveelheid ds snijmaïs/hoeveelheid ds graskuil+snijmaïs, dimensieloos)

Met behulp van het hierboven beschreven emissiemodel zijn predicties gemaakt voor de stalemissie van ammoniak bij uiteenlopende waarden voor temperatuur, OEB en snijmaïsaandeel (tabel 25).

**Tabel 25** Stalemissie (kg NH<sub>3</sub>/dier/stalperiode van 190 dagen) bij uiteenlopende temperatuur (°C), OEB (g/totaal aanwezig dier/dag) en snijmaisaandeel (100\*[hoeveelheid ds snijmais/hoeveelheid ds graskuil+snijmais], %); predicties op basis van model F6.10 (is gelijk aan model F6.11 of F6.12a + F6.12b)

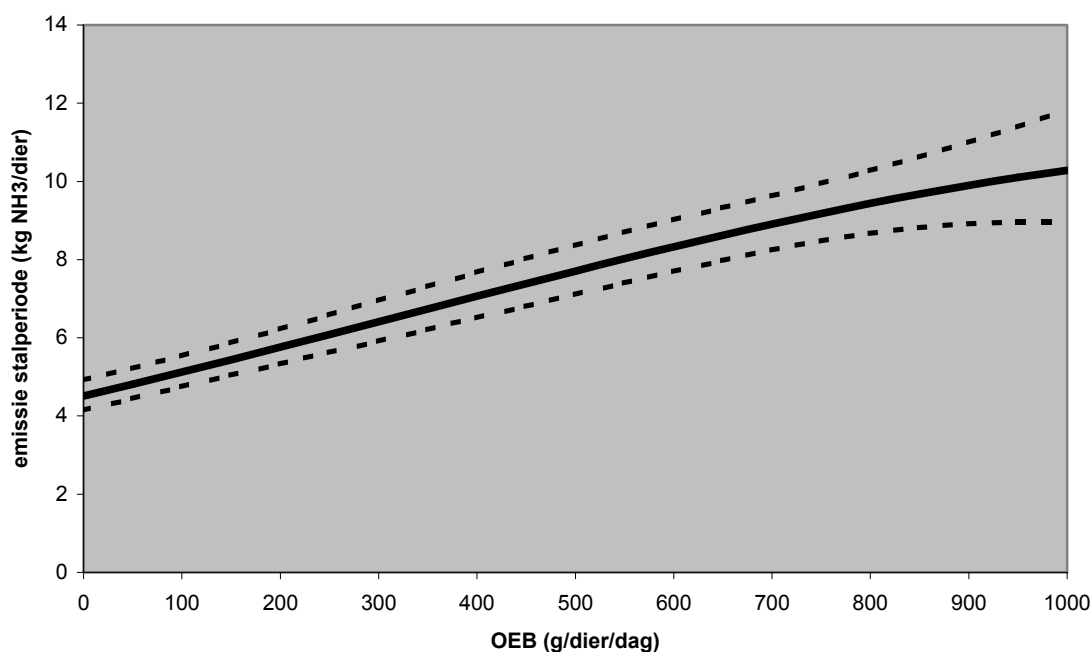
Temperatuur (°C)	OEB g/dier/dag	Snijmaisaandeel		
		0%	50%	100%
10	0	3,27	3,94	4,76
10	500	5,58	6,73	8,12
10	1000	7,44	8,98	10,83
15	0	3,74	4,52	5,45
15	500	6,39	7,71	9,30
15	1000	8,52	10,28	12,41

Uit het bovenstaande blijkt dat de temperatuur positief is gerelateerd aan de ammoniakemissie. Als vuistregel kan worden aangehouden dat een verhoging van de gemiddelde temperatuur met 1°C een verhoging van de ammoniakemissie geeft van ca. 2,7%.

Tevens bleek de OEB van het rantsoen positief gerelateerd met de ammoniakemissie. Figuur 14 geeft een indruk van deze relatie. Voor een rantsoen waarvan de ds van het ruwvoer voor 50% bestaat uit graskuil en voor 50% uit snijmais is het verband gegeven tussen de OEB en de ammoniakemissie vanuit de stal. De ammoniakemissie is uitgedrukt in kg NH<sub>3</sub> per dier in de stalperiode (190 dagen) en is gestandaardiseerd voor een temperatuur van 15°C. Tevens is het 95%-betrouwbaarheidsinterval gegeven op basis van de schattingsnauwkeurigheid van de parameters. In bijlage 5 is een uitgebreide beschrijving van dit betrouwbaarheidsinterval gegeven.

Tenslotte bleek het snijmaisaandeel positief gerelateerd aan de ammoniakemissie. Aangezien het niet aannemelijk is dat het aandeel snijmais een (groot) causaal effect heeft op de ammoniakemissie, is dit punt verder onderzocht: zie paragraaf 5.2.3.

**Figuur 14** Effect van OEB (g/dier/dag) op de ammoniakemissie (kg NH<sub>3</sub>/dier/stalperiode van 190 dagen) van het Voer- en emissiebedrijf bij een rantsoen waarin het ruwvoer bestaat uit 50% graskuil en 50% snijmais (ds-basis). Boven- en ondergrens (stippellijnen) van het 95%-betrouwbaarheidsinterval op basis van de schattingsnauwkeurigheid van de parameters



### 5.2.3 Strengeling van snijmaisaandeel met DVE-, Na- en K-opname

De ammoniakemissie is te voorspellen uit de OEB en het aandeel snijmaïs (zie paragraaf 5.2.2). Het is niet aannemelijk dat de experimentele factor “snijmaisaandeel” een (groot) causaal effect heeft op de ammoniakemissie en het tankmelkureumgehalte (zie ook de paragrafen 4.4, 5.2.2 en 6.5). Het ligt daarom voor de hand om na te gaan of de factor “snijmaisaandeel” is gestrengeld met andere factoren, waarvan een causale relatie met de ammoniakemissie en het tankmelkureumgehalte wel aannemelijk is.

De experimentele variabele snijmaisaandeel is gestrengeld met drie variabelen waarvan een causale relatie met het melkureumgehalte en de ammoniakemissie mogelijk van toepassing is, namelijk de DVE-opname, de Na-opname en de K-opname. Hier wordt verder op ingegaan.

#### DVE-opname

Uit tabel 10 blijkt dat de DVE-opname positief is gerelateerd aan het aandeel snijmaïs. De DVE-opname van de melkgevende koeien is respectievelijk ca. 200 en 400 g/koe/dag hoger bij een snijmaisaandeel van 50 en 100% ten opzichte van een snijmaisaandeel van 0%. Deze verhoogde DVE-opname is niet een gevolg van “boven de DVE-norm voeren”, aangezien de DVE-dekking voor alle behandelingen rond 100% ligt (zie tabel 11). De verhoogde DVE-opname bij rantsoenen met snijmaïs hangt vooral samen met de verhoogde voeropname. De verhoogde DVE-opname bij rantsoenen met snijmaïs wordt voornamelijk aangewend voor melk(eiwit)productie, eventueel in combinatie met de aanzet van lichaamsreserves. Echter, de benutting van DVE voor melkproductie gaat gepaard met N-verliezen via de urine. Het DVE-systeem gaat uit van een benutting van ca. 64% van de DVE voor melkproductie en houdt dus rekening met 36% verliezen. Deze hogere N-verliezen via de urine worden weerspiegeld door een hoger gehalte aan melkureum en leiden bovendien tot een hogere emissie van ammoniak. Nagegaan is of in model F6.10 de variabele “aandeel snijmaïs” vervangen kan worden door de variabele “DVE-opname”. Een samenvatting van de uitgevoerde statistische analyse is te vinden in bijlage 4. Eerst is aan model F6.10 de term DVE-opname (lineair en kwadratisch,  $DVE_t$ ) toegevoegd (resulteert in model F7.1), waardoor een volledig model ontstond. Toevoegen van de DVE-effecten geeft geen significante verlaging van het criterium. Weglating van het aandeel maïs, verhoogt het criterium significant, zie model F7.2,

$P(\chi_{1d.f.}^2 > 3,44) = 0,0636$ . Vervolgens is nagegaan of de uitdoofparameters gelijk zijn (model F7.3) en of er een interactie was tussen OEB en DVE-opname (model F7.4). Deze interactie bleek niet significant, evenmin als het kwadratisch effect van DVE-opname. Het uiteindelijk verkregen model F7.5 wijkt weliswaar significant af van model F7.1,  $P(\chi_{3d.f.}^2 > 12,7) < 0,01$ , maar voor wat betreft totale variantie en percentage verklaarde variantie is het verschil marginaal. Op grond hiervan is gekozen voor model F7.5 als uiteindelijk model. De formule voor model F7.5 is (voor verklaring van eerder gebruikte termen zie formule F6.2):

$$Z_t = C + \omega_1 S_t + \omega_2 T_t + \frac{\omega_6}{1 - \delta B} DVE_t + \frac{\omega_{71}}{1 - \delta B} O_t + \frac{\omega_{72}}{1 - \delta B} O_t^2 + \frac{1}{1 - \phi B} a_t \quad [F7.5]$$

met (nieuwe term):

$DVE_t$  DVE-opname op dag  $t$  (kg/aanwezig dier/dag)

of, indien de parameterschattingen worden ingevuld:

$$Z_t = 0,504 + 0,457 * S_t + 0,02738 * T_t + \frac{0,1558}{1 - 0,7536 * B} * DVE_t + \frac{0,3152}{1 - 0,7536 * B} * O_t - \frac{0,1169}{1 - 0,7536 * B} * O_t^2 + \frac{1}{1 - 0,8562 * B} a_t \quad [F7.6]$$

Het nu verkregen model is gebaseerd op OEB en DVE-opname en niet meer op aandeel snijmaïs. Echter, bedacht moet worden dat aandeel snijmaïs en DVE-opname gestrengeld zijn. Daarom is statistisch niet eenduidig vast te stellen of DVE op zichzelf een goede voorspellende variabele is, m.a.w. of de relatie tussen DVE-opname en emissie causaal is. Voedingsfysiologisch is een causaal verband echter wel aannemelijk om de in deze paragraaf genoemde redenen.

*Na- en K-opname*

Ten slotte is, volgens een soortgelijke benadering als voor DVE, nagegaan dat zowel het toevoegen van K-opname als het toevoegen van Na-opname als extra verklarende term geen significante verbetering van het model geeft (zie model F8.1 en F8.2 in bijlage 4).

**5.3 Model ammoniakemissie op basis van ureumgehalte in tankmelk en temperatuur**

Model F6.10 is stapsgewijs aangepast tot een model voor voorspelling van de ammoniakemissie op basis van het ureumgehalte in tankmelk. Een samenvatting van de resultaten van deze statistische analyse is gegeven in bijlage 4. Als eerste is het ureumgehalte van tankmelk (lineair en kwadratisch) toegevoegd (resulteert in model F9.1). Het criterium bleek hierdoor te dalen, hetgeen betekent dat dit volledige model F9.1 beter is dan model F6.10. Daarna zijn achtereenvolgens de termen OEB (kwadratisch en lineair) en aandeel snijmaïs weggelaten (modellen F9.2 t/m F9.4). De formule voor model F9.4 is:

$$Z_t = C + \omega_1 S_t + \omega_2 T_t + \frac{\omega_{31}}{1 - \delta B} U_t + \frac{\omega_{32}}{1 - \delta B} U_t^2 + \frac{1}{1 - \phi B} a_t \quad [F9.4]$$

met:

$U_t$  ureumgehalte van de tankmelk op dag  $t$  (mg/100 g)

voor reeds eerder gebruikte termen zie formule F6.2

In vergelijking met model F9.1 is het criterium 40,4 eenheden hoger bij een afname van 4 vrijheidsgraden,

$P(\chi_{4d.f.}^2 > 40,4) < 0,01$ . Bovendien zijn de varianties iets hoger en is de  $r^2$  iets lager. Met andere woorden:

statistisch gezien past model F9.4 iets minder goed dan het model met de experimentele voedingsvariabelen (F9.1). Echter, praktisch gezien is model F9.4 zeker zo goed toepasbaar. In model F9.1, waarin zowel melkureumgehalte als OEB en aandeel snijmaïs zijn opgenomen, waren volgens de t-test alle termen van belang. Echter, bij beschouwing van de parameterschattingen bleken deze opvallend laag doordat de effecten verdeeld werden over de termen, die onderling gestrengeld zijn. Door de strengeling tussen ureumgehalte en OEB en aandeel snijmaïs worden de effecten in model F9.1 onderschat. Bovendien is de toepassing van de modellen met strengelingen gevaarlijk, omdat het melkureumgehalte bij een gegeven OEB en snijmaïsaandeel slechts beperkt zal variëren.

Indien in formule F9.4 de parameterschattingen worden ingevuld ziet het model er als volgt uit:

$$Z_t = 0,751 + 0,491 * S_t + 0,0276 * T_t + \frac{0,01905}{1 - 0,6437 * B} * U_t - \frac{0,0001466}{1 - 0,6437 * B} * U_t^2 + \frac{1}{1 - 0,8504 * B} a_t \quad [F9.5]$$

Dit kan voor toepassing (predictie van emissie) nog verder worden vereenvoudigd tot formule F6.12a in combinatie met F9.6:

$$\text{Stalemissie (kg NH}_3\text{/dier/stalperiode van 190 dagen)} = e^Z \quad [F6.12a]$$

met:

$$Z = 0,751 + 0,0276 * (TEMP - 15) + 0,0534661 * U - 0,00041145102 * U * U \quad [F9.6]$$

met:

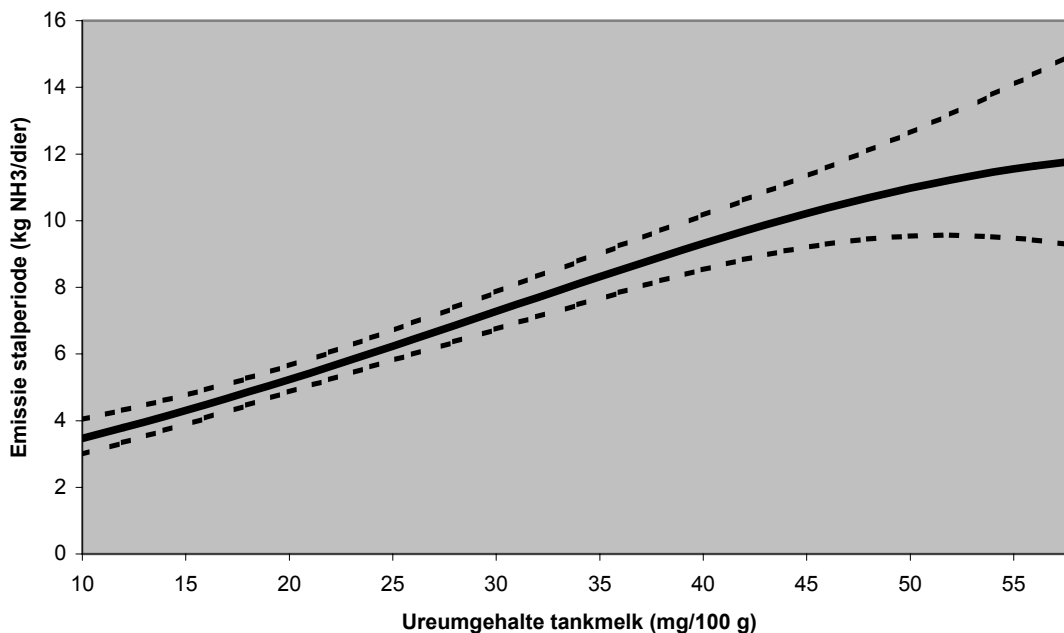
Z natuurlijke logaritme van de ammoniakemissie vanuit de stal  
(kg NH<sub>3</sub>/dier/stalperiode van 190 dagen)  
TEMP temperatuur (°C)  
U Ureumgehalte in tankmelk (mg/100 g)

In figuur 15 is de relatie tussen het ureumgehalte in tankmelk en de stalemissie van ammoniak gegeven op basis van predictie met behulp van model F9.4 (is gelijk aan model F9.5 of model F6.12a in combinatie met F9.6).

Hierbij is gestandaardiseerd voor een temperatuur van 15 °C. Tevens is in figuur 15 het 95%-betrouwbaarheidsinterval op basis van de schattingsnauwkeurigheid van de parameters gegeven. In bijlage 5 is een uitgebreide beschrijving van dit betrouwbaarheidsinterval gegeven.

Het ureumgehalte in tankmelk is sterk gerelateerd aan de ammoniakemissie vanuit de stal ( $r^2 = 76\%$ ; model F9.4). Uit dit model blijkt dat reductie van het ureumgehalte in tankmelk van 40 naar 20 mg/100 g samen gaat met een reductie van de ammoniakemissie vanuit de stal met ca. 44% (zie ook figuur 15).

**Figuur 15** Ammoniakemissie (kg NH<sub>3</sub>/dier/stalperiode van 190 dagen) van het Voer- en emissiebedrijf op basis van het ureumgehalte in tankmelk (mg/100 g): predictie met model F9.4, gestandaardiseerd voor een temperatuur van 15°C. Onder- en bovengrens (stippellijnen) van het 95%-betrouwbaarheidsinterval gebaseerd op de schattingsnauwkeurigheid van de modelparameters



#### 5.4 Effect van mest mixen op de ammoniakemissie

Tijdens de proef is aan het begin van iedere periode van drie weken (= behandeling) de mest in de kelder gemixt en een gedeelte overgepompt zodat er iedere periode een vergelijkbaar mestniveau in de kelder was. Het effect van mixen en overpompen op de ammoniakemissie is gemodelleerd. Bij deze analyse is uitgegaan van het model met het ureumgehalte van de tankmelk als verklarende variabele (formule F9.4). Dit model is uitgebreid met een term voor het effect van mixen en overpompen en is daardoor als volgt:

$$Z_t = C + \omega_0 S_t + \omega_1 T_t + \frac{\omega_{21}}{1 - \delta_1 B} U_t + \frac{\omega_{22}}{1 - \delta_1 B} U_t^2 + \frac{\omega_3}{1 - \delta_2 B} I_t + \frac{1}{1 - \phi B} a_t \quad [F10.1]$$

met:

$I_t$  index voor mixen op dag  $t$  (1 = mixen, 0 = niet mixen)

$U_t$  ureumgehalte van de tankmelk op dag  $t$  (mg/100 g)

voor reeds eerder gebruikte termen zie formule F6.2

of, indien de parameterschattingen worden ingevuld:

$$Z_t = 0,765 + 0,486 * S_t + 0,02731 * T_t + \frac{0,01820}{1 - 0,6471 * B} * U_t - \frac{0,0001341}{1 - 0,6471 * B} * U_t^2 + \frac{0,1104}{1 - 0,520 * B} * I_t + \frac{1}{1 - 0,8564 * B} a_t \quad [F10.2]$$

Het blijkt dat er op de dag van mixen en overpompen een 11% hogere emissie is ten opzichte van het gemiddelde emissieniveau over alle dagen, dit effect neemt op de daaropvolgende dagen snel af. Het is moeilijk om te evalueren of de exponentiële uitdoving een juiste beschrijving geeft van het verloop van het effect. Dit komt doordat er in de regel op maandag werd gemixt. Zodoende strengelt het effect gedeeltelijk met het dageffect in de week, waarvoor eerder (niet significante) aanwijzingen zijn gevonden. Meestal werd tijdens het mixen de grote staldeur en/of de zijdeur(en) open gezet. Hierdoor werd het normale ventilatiepatroon verstoord. Bedacht moet worden, dat deze proef niet specifiek is opgezet voor het schatten van het effect van mixen of andere managementinvloeden.



## 6 Discussie

In dit hoofdstuk worden enkele opvallende resultaten uit de hoofdstukken 4 en 5 bediscussieerd.

### 6.1 Melkureum als graadmeter voor lacterend melkvee

Het ureumgehalte in tankmelk zegt strikt genomen uitsluitend iets over de stikstofbenutting van het melkgevende vee. Als graadmeter voor de stikstofbenutting door droogstaande koeien en jongvee is het kengetal niet bruikbaar. Echter, in de praktijk zijn droogstaande koeien vaak in dezelfde stal gehuisvest als melkgevende koeien. Voor de ammoniakemissie vanuit de stal betekent dit dat zowel melkgevend als droogstaand vee daaraan bijdragen. De omstandigheden in het onderzoek op het “Voer- en emissiebedrijf” waren in dat opzicht vergelijkbaar aan een praktijksituatie. Voor meer informatie met betrekking tot huisvesting en voeding van melkgevende en droogstaande koeien wordt verwezen naar de paragrafen 4.1 t/m 4.3.

### 6.2 Melkproductieniveau in relatie tot stikstofexcretie en ammoniakemissie

De stikstofexcretie en ammoniakemissie zijn beide positief gecorreleerd aan het melkureumgehalte. Hierdoor kan het melkureumgehalte gebruikt worden voor zowel de schatting van de stikstofexcretie (Šebek et al., 2003) als voor de ammoniakemissie (dit rapport). Aan de andere kant blijkt het melkureumgehalte geen verband te houden met het melkproductieniveau (zie paragraaf 2.3). Dit betekent dat het mogelijk is om bij een hoog melkproductie niveau een laag melkureumgehalte te realiseren en daarmee een relatief lage stikstofexcretie en ammoniakemissie. Dit blijkt ook uit het feit dat het belangrijkste deel van zowel de stikstofexcretie als de ammoniakemissie wordt verklaard met behulp van het melkureumgehalte. Bovendien zou het opnemen van het melkproductieniveau als aanvullende verklarende parameter in de emissiemodellen problemen opleveren door strengeling met de verklarende voedingsparameters. In dit onderzoek is de relatie binnen één bedrijf bij een relatief constante melkproductie vastgelegd.

Uit voorlopige meetresultaten van monitoring van de ammoniakemissie op bedrijven uit het project “Koeien en Kansen” blijkt dat de variatie in ammoniakemissie vanuit de stal tussen deze bedrijven beperkt van omvang is (Smits, 2002), terwijl er wel een flinke variatie in melkproductieniveau tussen bedrijven bestaat (305-dagenproductie circa 6.500-10.500 kg). Het melkureumgehalte op deze bedrijven is doorgaans laag (gemiddeld circa 22 mg/100 g melk) en de variatie in melkureumgehalte tussen bedrijven is vrij gering (zie ook figuur 20). Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat het staltype en de mate waarin weidegang wordt toegepast van invloed zijn op het niveau van stalemissie.

### 6.3 Urineproductie in relatie tot ammoniakemissie

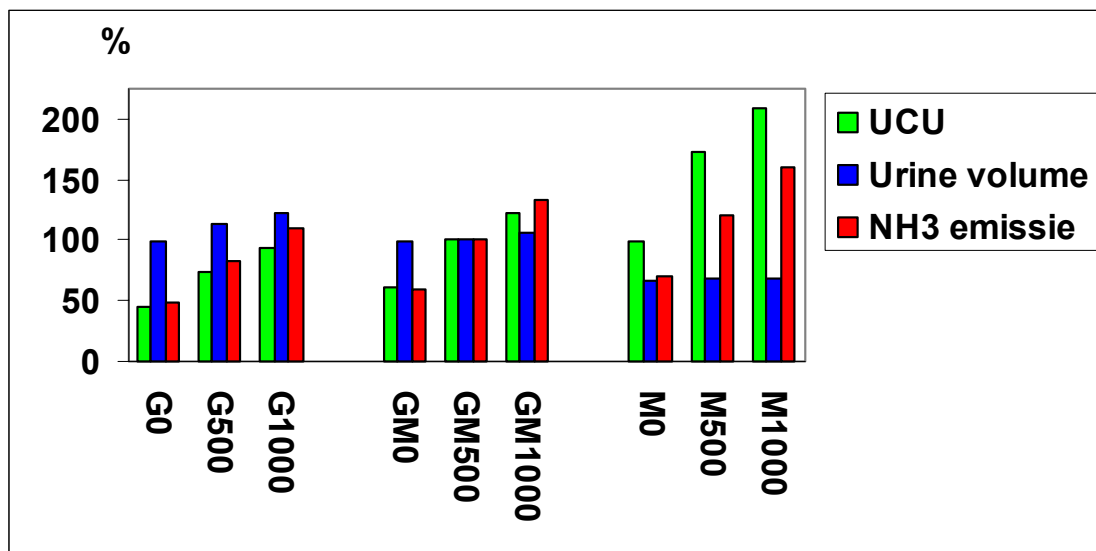
In figuur 16 zijn de effecten van de rantsoenen op de ammoniakemissie (bij 15°C, volgens tabel 25), de steekproefsgewijs gemeten ureumconcentratie in de urine (tabel 18) en het berekende urinevolume (volgens Bannink et al., 1998, tabel 19) weergegeven als percentage van de niveaus bij GM500.

De ammoniakemissie en de ureumconcentratie in de urine nemen toe bij een toenemende waarde voor de Onbestendig Eiwit Balans. Per niveau van OEB neemt de ammoniakemissie toe bij toenemend niveau ‘snijmaisaandeel’. Overigens kan hier, zoals eerder aangegeven, waarschijnlijk beter gesproken worden over de hogere DVE-opname dan over het snijmaisaandeel in het rantsoen. Het urinevolume tendert naar lagere waarden bij toename van het snijmaisaandeel en vertoont geen duidelijke samenhang met het OEB-niveau.

Uit tabel 25 zou afgeleid kunnen worden dat de ammoniakemissie vooral door de ureumconcentratie in de urine bepaald wordt en in veel mindere mate gecorreleerd is met het urinevolume. Ook uit modelberekeningen (Monteny et al., 2000) is gebleken dat de ammoniakemissie gevoeliger is voor een verandering van de ureumconcentratie dan voor een verandering van het urinevolume. Hierbij moet wel aangetekend worden dat de ureumconcentratie mede bepaald wordt door het urinevolume.

De ureumconcentratie en de ammoniakemissie blijken per niveau van OEB toe te nemen naarmate het snijmaisaandeel in het rantsoen toeneemt.

**Figuur 16** De effecten van de rantsoenen op de ammoniakemissie (zie tabel 25), de ureumconcentratie in de urine (UCU) en het urinevolume (gewogen gemiddelde van lacterende en droogstaande dieren, geschat volgens Bannink et al. (1998). De behandelingsgemiddelden zijn uitgedrukt als percentage van het behandelingsgemiddelde bij GM500; de waarden bij GM500 zijn op 100% gesteld



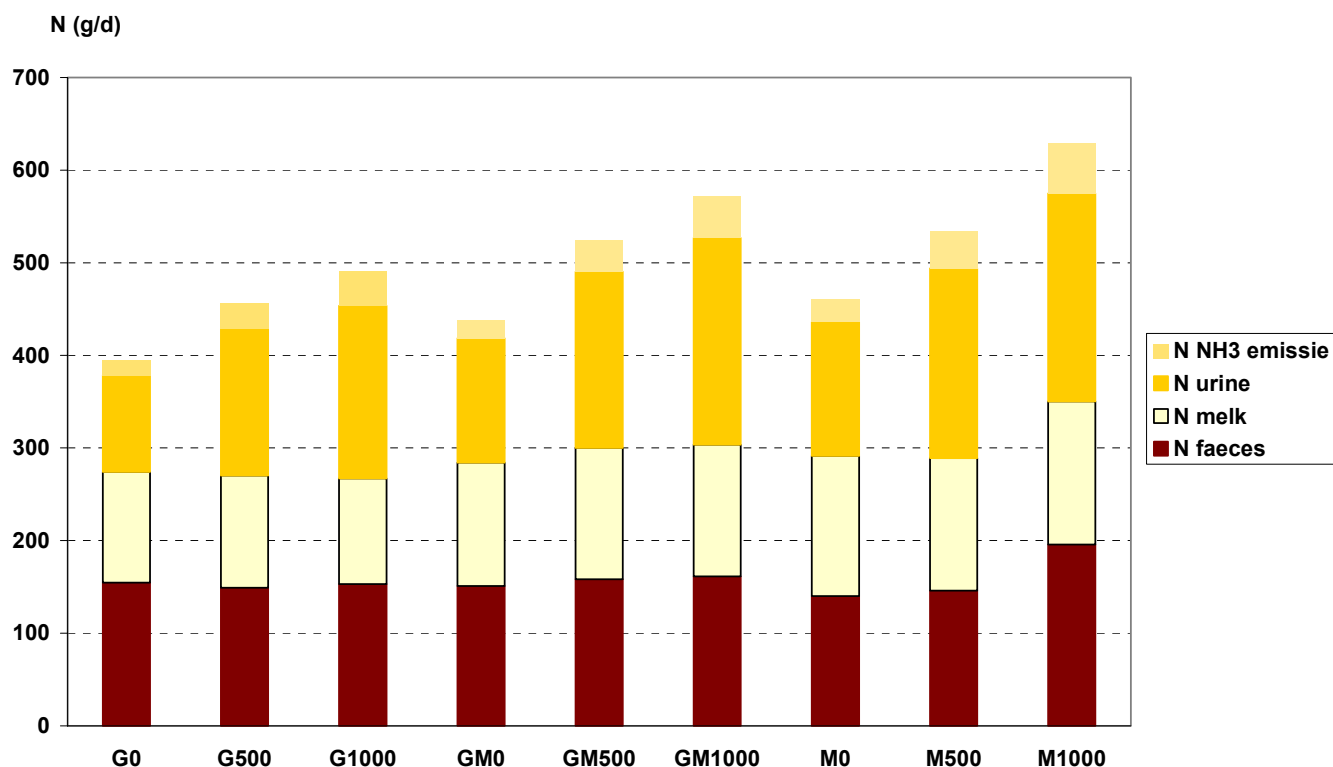
#### 6.4 Ammoniakemissie in relatie tot de stikstofbalans

In figuur 17 is de verdeling van de opgenomen stikstof (g/dier/dag) over melk, faeces en urine weergegeven (zie ook bijlage 1). De ammoniakemissie (bij 15°C) is weergegeven als onderdeel van de urine-N, aannemende dat de ammoniak volledig uit de urine-N ontstaan is.

De hoeveelheden N die zijn opgenomen (voer) en de hoeveelheden die in de melk zijn uitgescheiden (N<sub>melk</sub>) en ook de ammoniakemissies zijn gemeten. De som van N excreties in faeces en urine ( $N_{\text{faeces} + \text{urine}}$ ) is berekend als de N-opname minus N melk ervan uitgaande dat de N-retentie in het dier verwaarloosbaar klein is. De N uitscheiding in de urine (N<sub>urine</sub>) is berekend door het steekproefsgewijs gemeten N-gehalte in de urine te vermenigvuldigen met het berekende urinevolume volgens de regressies van Bannink et al. (1999). De N uitscheiding in de faeces is tenslotte bepaald als  $N_{\text{faeces} + \text{urine}}$  minus N<sub>urine</sub>.

De N uitscheiding in de melk varieert het minste tussen behandelingen. De N uitscheiding in de faeces neemt in beperkte mate toe met het niveau van OEB; die in de urine neemt sterk toe met het niveau van OEB. De ammoniakemissie neemt verhoudingsgewijs ook sterk toe met het niveau van OEB. In bijlage 2 is de in figuur 17 weergegeven N-verdeling uitgedrukt in procenten van de N-opname. Procentueel nemen de N-uitscheiding in de urine en de ammoniakemissie sterk toe bij hogere niveaus van OEB, terwijl de N uitscheiding in faeces en melk procentueel afnemen bij hogere niveaus van OEB.

**Figuur 17** De verdeling (behandelingsgemiddelden) van de opgenomen stikstof (g/dier/dag) over melk, faeces en urine. Hierbij is gewogen naar het aantal lacterende en droogstaande dieren. De ammoniakemissie is weergegeven als verticaal gearceerd onderdeel van de urinestikstof



De stikstof die door ammoniakemissie verloren gaat, kan uitgedrukt worden als percentage van de in figuur 17 onderscheiden N posten. In tabel 26 is dit weergegeven.

Aanvullend is de emissie berekend als percentage van de hoeveelheid uitgescheiden ureumstikstof. Deze is berekend door het gemeten ureumstikstofgehalte in de urine te vermenigvuldigen met het berekende urinevolume volgens de regressies van Bannink et al (1999).

**Tabel 26** Emissie van ammoniakstikstof (bij 15°C) als percentage van de diverse posten van de N-balans (die deels berekend en deels gemeten zijn); gewogen naar het aantal lacterende en droogstaande dieren. De percentages zijn berekend uitgaande van de behandelingsgemiddelden

	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
% van N opname	4,1	6,0	7,1	4,5	6,5	7,8	5,3	7,6	9,0
% van N <sub>faeces + urine</sub>	5,9	8,2	9,5	6,4	8,8	10,3	7,9	10,3	11,9
% van N urine	13	15	16	13	15	17	14	16	20
% van ureum-N in urine	23	21	20	21	21	22	23	22	24

Uit tabel 26 blijkt dat de ammoniakemissie als percentage van de N-opname toeneemt met het niveau van OEB.

Ook als percentage van de N-uitscheiding in faeces en urine neemt de ammoniakemissie toe bij hogere niveaus van OEB. Uitgedrukt als percentage van de ureumstikstof is de ammoniakemissie echter vrij constant.

In modelmatige berekeningen van de nationale ammoniakemissie uit de landbouw worden emissies vaak berekend door de forfaitaire excretie van stikstof te vermenigvuldigen met een vast vervluchtigingspercentage (van Steenvoorden et al., 1999; van der Hoek et al., 2001; Oenema et al., 2001). De verwachte N-excretie (urine + faeces) per dier in 2003 is volgens Tamminga et al. (2000) 129 kg/jaar ofwel 353 g/d. Het vervluchtigingspercentage in de UAV (1999) bedraagt volgens Oenema et al. 11,4 % in de winter en wordt door Oenema et al. in de zomer op 15,4 % geschat.

Uit tabel 26 blijkt dat door emissiebeperkende voermaatregelen rekening moet worden gehouden met een afname van het vervluchtigingspercentage (zie % N<sub>faeces + urine</sub>). Daarnaast zullen door voermaatregelen de N-excreties (zie bijlage 2) ook lager kunnen zijn dan de forfaitaire waarden. Door geen rekening te houden met beide aspecten kan de emissie fors overschat worden.

Er werden in het in dit rapport beschreven onderzoek alleen effecten op de stalemissie vastgesteld. Als emissiebeperkende voermaatregelen worden toegepast leidt de rekenmethodiek uitgaande van forfaitaire excreties en vaste vervluchtigingspercentages waarschijnlijk ook voor de emissie bij toediening, beweiding en eventuele mestopslag buiten de stal tot een overschatting van de emissie.

Recentelijk zijn de stalemissiefactoren voor melkvee herzien door VROM (2002). Daarbij zijn op basis van Monteny et al. (2000) jaarrond emissiefactoren gedefinieerd. Op basis van Smits et al. (2002) en het hier gerapporteerde onderzoek zijn de stalemissiefactoren van melkvee met circa 10% verminderd omdat het melkureumgehalte in Nederland in 2001 gemiddeld circa 5 eenheden lager was dan in 1998.

## 6.5 Strengeling van snijmaïsaandeel met DVE-niveau

In de praktijk zijn rantsoenen met veel snijmaïs doorgaans eiwitarmere dan rantsoenen met veel graskuil. Door het voeren van snijmaïs wordt namelijk in het algemeen een verlaging van de OEB gerealiseerd. Uit dit rapport blijkt een verlaging van de OEB te leiden tot een lagere ammoniakemissie vanuit de stal. Daarom kan gesteld worden dat door het verhogen van het aandeel snijmaïs in het rantsoen in de praktijk doorgaans een reductie van de stalemissie van ammoniak zal worden gerealiseerd. In de beschreven proefopzet werden echter ook bij hoge waarden voor OEB (500 en 1000 g/dier/dag) rantsoenen met een hoog snijmaïsaandeel (50 of 100% van de droge stof uit ruwvoer) samengesteld. De rantsoenen M500, M1000 en GM1000 zullen in de praktijk zelden voorkomen. In de proef bleek bij een gegeven OEB een verhoging van het snijmaïsaandeel samen te gaan met een verhoogd melkureumgehalte en een verhoogde emissie. Een strengeling van DVE-opname en snijmaïsaandeel bleek hiervoor een logische verklaring (zie ook paragraaf 5.2.3). Deze geconstateerde strengeling in de proef zal echter ook in praktijksituaties veelvuldig optreden. De gemiddelde verzadigingswaarde van snijmaïs is namelijk lager dan die van graskuil waardoor snijmaïsrantsoenen doorgaans zullen resulteren in een hogere voeropname dan graskuilrantsoenen (CVB, 2002; Zom et al., 2002). Er vanuit gaande dat in veel praktijkrantsoenen gestreefd wordt naar een uitgebalanceerde verhouding tussen VEM en DVE per kg ds, mag verondersteld worden dat in de praktijk de DVE-opname in het algemeen hoger is bij snijmaïsrantsoenen dan bij graskuilrantsoenen. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat bij graskuilrantsoenen het risico van overvoeding van DVE (d.w.z. verstrekking boven de norm) groter is dan bij snijmaïsrantsoenen. Immers, graskuil bevat doorgaans een beduidend hoger gehalte aan DVE dan snijmaïs.

## 6.6 Effect van overige voedingsfactoren op ammoniakemissie

Ammoniakemissie wordt veroorzaakt door de uitscheiding van stikstof via de urine. Door urease-activiteit van micro-organismen in de faeces, wordt ureum gehydrolyseerd tot ammoniak (Bannink en Van Vuuren, 1998; Monteny, 2000). Ammoniakemissie wordt beïnvloed door de ureumconcentratie in de urine, het urine volume en de urineerfrequentie. Elk van deze factoren is afhankelijk van de voeding van het vee (Bannink en Van Vuuren, 1998). Er zijn echter meer voedingsgerelateerde factoren die een rol spelen bij de emissie van ammoniak. Eén daarvan is de pH (zuurtegraad) van de urine en van de in de kelder opgeslagen mest. De pH bepaalt namelijk de verhouding waarin ammoniak en ammonium voorkomen (Bannink en Van Vuuren, 1998; Monteny, 2000). De pH van de urine is afhankelijk van de voeding, in het bijzonder van het zogenaamde kation-anion verschil. Een significant effect van het kation-anion verschil op de urine-pH mag verwacht worden bij een kation-anion verschil van maximaal 0 meq/kg droge stof (Bannink en Van Vuuren, 1998). Een dergelijke lage waarde komt in Nederlandse rantsoenen voor melkvee echter nauwelijks voor.

## 7 Toepassing in de praktijk

Verlaging van de ammoniakemissie vanuit de melkveestal is mogelijk door het nemen van voermaatregelen. Een voor de praktijk geschikte graadmeter voor de ammoniakemissie is het melkureumgehalte. Dit gehalte is positief gecorreleerd aan de ammoniakemissie. Daarom verdient het aanbeveling de voermaatregelen te richten op het verlagen van het melkureumgehalte. Dit hoofdstuk gaat in op het gemeten ureumgehalte in tankmelk op Nederlandse melkveebedrijven gedurende de periode 1998-2002 en het melkureumgehalte in enkele projecten waarin een kleine groep praktijkbedrijven is gevolgd.

### 7.1 Melkureumgehalte in Nederland

Medio 1998 is het Melkcontrolestation (MCS) in Zutphen gestart met de bepaling van het melkureumgehalte in alle leverantiemonsters (met uitzondering van de zogenaamde kwaliteitsmonsters). De uitslag wordt voor alle veehouders vermeld op het leverantieoverzicht van de zuivelfabriek en kan aanvullend door veehouders die zijn aangesloten op het zogenaamde "Zuivelnet" via internet worden opgevraagd. Dit betekent dat alle Nederlandse melkveehouders al sinds de zomer van 1998 inzicht hebben in het ureumgehalte van de tankmelk op hun bedrijf. Doorgaans wordt één maal per drie dagen melk geleverd, dit is daarom tevens de frequentie waarin het ureumgehalte wordt vastgesteld (met uitzondering van de melkleveringen waarin zogenaamde kwaliteitsbemonstering plaatsvindt). Zie voor de gehanteerde bepalingmethoden paragraaf 1.3.2.

In tabel 27 is aangegeven hoe het jaarlijks landelijk gemiddelde ureumgehalte in tankmelk zich in de afgelopen jaren heeft ontwikkeld. In 1998 bedroeg het landelijk gemiddelde tankmelkureumgehalte ruim 30 mg/100 g. Echter, dit betrof slechts de metingen vanaf het moment van introductie van het kengetal medio dat jaar en dus niet een volledig kalenderjaar.

**Tabel 27** Jaarlijks landelijk gemiddeld ureumgehalte in tankmelk (mg/100g)

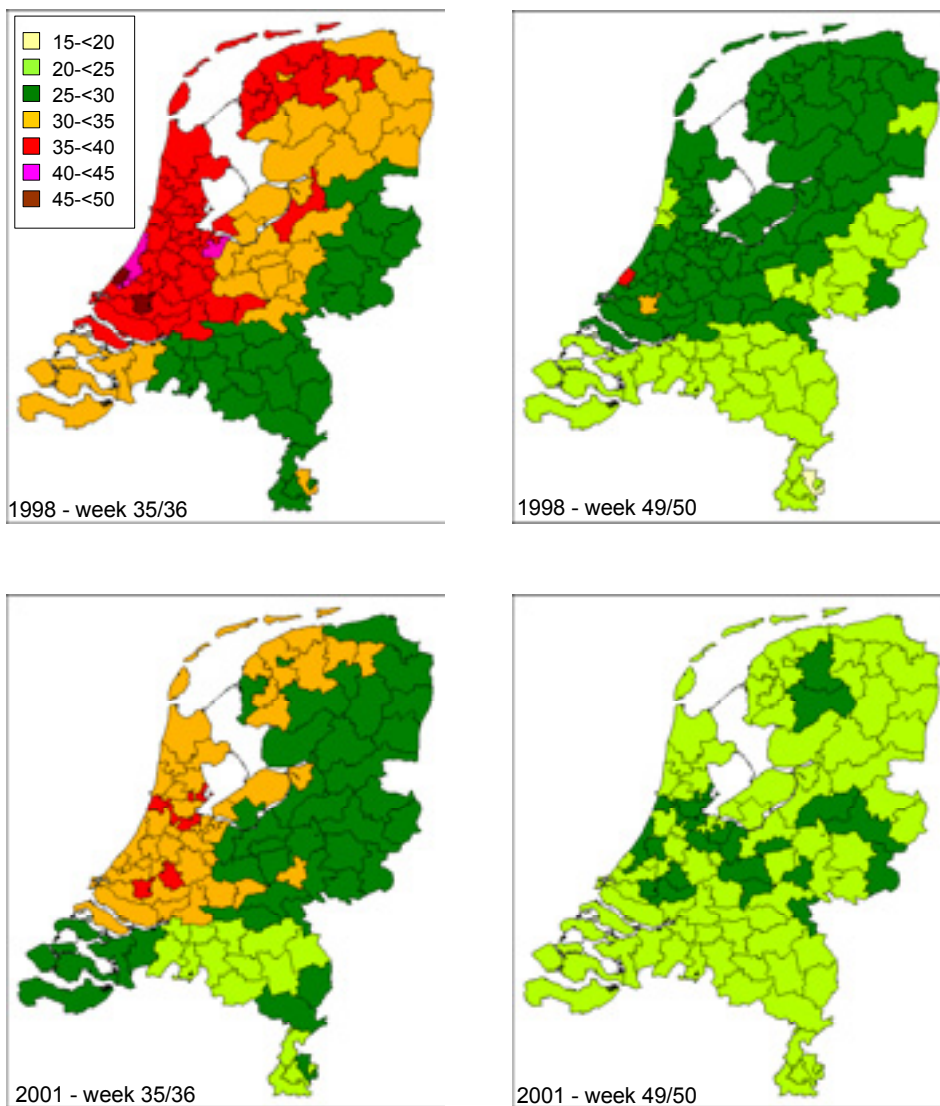
Bedrijven	Aantal bedrijven	Gemiddeld ureumgehalte tankmelk			
		1999	2000	2001	2002
Landelijk (bron MCS)	Alle	29,4	27,1	25,1	26,1

Het landelijk gemiddelde melkureumgehalte vertoont een dalende trend sinds de introductie van het kengetal in 1998 tot en met 2001. Er zijn echter grote regionale verschillen. In figuur 18 (bron MCS Zutphen) is ter illustratie het gemiddelde ureumgehalte in tankmelk per regio in Nederland weergegeven in de perioden "week 35/36 1998", "week 49/50 1998", "week 35/36 2001" en "week 49/50 2001". Daarbij maakt week 35/36 deel uit van de weideperiode en week 49/50 van de stalperiode.

Ook het jaargemiddelde tankmelkureumgehalte vertoont duidelijke regionale verschillen (Smits et al, 2002). In Zuid- en Oost-Nederland is het gemiddelde melkureumgehalte lager dan in Noord- en West-Nederland. Dit hangt waarschijnlijk vooral samen met de grondsoort en de daarmee samenhangende mogelijkheden om eiwitarme gewassen te verbouwen. In Noord- en West-Nederland bestaat het areaal overwegend uit grasland, terwijl dit in Zuid- en Oost-Nederland op melkveebedrijven deels uit andere voedergewassen (vooral snijmaïs en in mindere mate graan) bestaat.

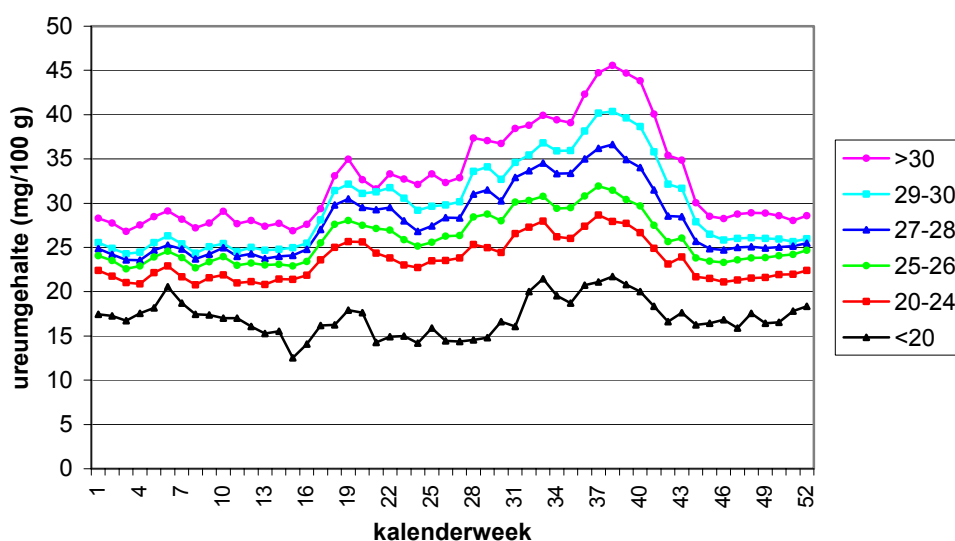
**Figuur 18** Gemiddelde ureumgehalte (mg ureum/100 g melk) in leverantiemonsters boerderijmelk per regio in Nederland in de perioden “week 35/36 1998”, “week 49/50 1998”, “week 35/36 2001” en “week 49/50 2001”. Bron: MCS Zutphen

Gemiddeld ureumgehalte (mg/100 g) in leverantiemonsters boerderijmelk 1998 - 2001



Ook binnen een jaar treden tussen kalenderweken duidelijke schommelingen in het melkureumgehalte op. In figuur 19 is dit voor het jaar 2000 geïllustreerd. Het verloop van het melkureumgehalte gedurende het jaar is weergegeven voor bedrijven in Nederland, die daarbij verdeeld zijn in zes klassen, namelijk een jaargemiddeld melkureumgehalte van resp. <20, 20-24, 25-26, 27-28, 29-30 en >30. 's Winters is het melkureumgehalte lager en is er minder variatie dan 's zomers. Tijdens het weideseizoen loopt het ureumgehalte geleidelijk op. In de herfst (september) is het melkureumgehalte het hoogst. Waarschijnlijk weerspiegelt dit verloop de oplopende eiwitgehalten in het gras (als gevolg van een ruime beschikbaarheid van stikstof in de bodem) gedurende de weideperiode en de vooralsnog beperkte invloed die de melkveehouder heeft (of heeft uitgeoefend) om het oplopende eiwit aanbod te beteugelen. Bij de lagere melkureumgehalten-klassen in figuur 19 is het aantal eenheden waarmee het ureumgehalte tijdens het weideseizoen oploopt kleiner (en dus ook de variatie binnen het jaar) dan bij de hogere ureumgehalten-klassen (vooral bij bedrijven in de klassen 29-30 en >30). Blijkbaar slagen de bedrijven in de lagere klassen er dus ook beter in om het ureumgehalte tijdens het weideseizoen te beteugelen. Naar verwachting is het gemiddeld aantal uren weidegang per dag lager bij de lagere klassen van melkureum.

**Figuur 19** Verloop van het gemiddelde ureumgehalte in tankmelk in Nederland in het jaar 2000 (onderliggende data: bron MCS)



## 7.2 Melkureumgehalte Koeien & Kansen - bedrijven

Het project "Koeien & Kansen" volgt een 17-tal praktijkbedrijven die er naar streven om versneld aan de MINAS eindnormen te voldoen. Deze bedrijven zijn dusdanig geselecteerd dat ze te maken hebben met uiteenlopende omstandigheden. Ze liggen dan ook in verschillende regio's. Sinds 1999 werken de "K&K bedrijven" zeer bewust aan het terugdringen van het N- en P-overschot. Daarbij is er ook gerichte aandacht voor de voeding. Op de "K&K bedrijven" is het gemiddelde melkureumgehalte aanzienlijk lager dan het landelijk gemiddelde. Bedrijven op zand- en lössgronden, die gemiddeld een lager ureumgehalte hebben dan het landelijk gemiddelde, zijn echter binnen de groep van "K&K bedrijven" oververtegenwoordigd. Op "K&K bedrijven" op kleigrond wordt ook een laag melkureumgehalte gerealiseerd. Op de twee veenweidebedrijven (gelegen in Noord- en Zuid-Holland) was het melkureumgehalte in 1999 en 2000 hoger dan het landelijk gemiddelde en in 2001 iets lager. In tabel 28 zijn de landelijke jaargemiddelden voor het ureumgehalte in tankmelk vergeleken met de overeenkomstige cijfers van de "K&K-bedrijven".

**Tabel 28** Gemiddeld ureumgehalte (mg/100 g) in tankmelk in Nederland en op Koeien en Kansen bedrijven (incl. onderscheid van zand, klei, löss en veen); in 1999-2001

Bedrijven	Aantal bedrijven	Gemiddeld ureumgehalte tankmelk		
		1999	2000	2001
Landelijk (MCS)	Alle	29,4	27,1	25,1
Koeien en Kansen	17 (1999 12)	24	22	22
K&K zand	10 (1999 5)	22	21	22
K&K klei	4	24	20	20
K&K löss	1	28	23	20
K&K veen	2	30	29	24

Uit tabel 28 blijkt dat de verlaging van het landelijk gemiddelde melkureumgehalte met 4 mg/100 g melk in de periode 1999 tot en met 2001, van dezelfde orde grootte is als de verlaging die in het project Koeien en Kansen over dezelfde periode is gerealiseerd. Echter, in 2001 is het landelijk gemiddelde gedaald ten opzichte van 2000, terwijl het gemiddelde van "Koeien en Kansen" toen nagenoeg stabiel is gebleven.

Bij de jaargemiddelden in tabel 28 dient wel te worden bedacht dat de variatie tussen bedrijven en binnen bedrijven tussen melkafleveringen groot is. In individuele tankmelkafleveringen varieert het ureumgehalte tussen 0 en 75 mg ureum/100 g melk.

### 7.3 Ureumproefbedrijven Overijssel

In 1998 en 1999 is in Overijssel een demonstratieproject uitgevoerd waarbij 15 veehouders getracht hebben om de benutting van stikstof en fosfaat door het melkvee te optimaliseren (Van Dongen, 2000). Daarbij werden het ureumgehalte van tankmelk en een analyse van het rantsoen als hulpmiddelen gebruikt. In de weideperioden van 1998 en 1999 was het gemiddelde ureumgehalte respectievelijk 26,7 en 27,4 mg /100 g melk. In de stalperioden van 1998 en 1999 was het respectievelijk 27,3 en 23,0 mg/100 g. De daling in het laatste stalseizoen werd veroorzaakt door veranderingen in het rantsoen. In het tweede weideseizoen daalde het gemiddelde melkureumgehalte niet ten opzichte van het eerste jaar. Dit hing samen met de goede omstandigheden voor weidegang in dat seizoen. Hierdoor was de opname van weidegras hoog. Compensatie met eiwitarme (kracht-)voeders vond slechts beperkt plaats (Van Dongen, 2000).

### 7.4 Beïnvloeding van het melkureumgehalte via management

Het melkureumgehalte is door het bedrijfsmanagement te beïnvloeden. De volgende maatregelen kunnen er toe leiden dat het ureumgehalte daalt:

#### 7.4.1 Verlaging van de OEB

Grofweg kan gesteld worden dat een verlaging van het eiwitniveau in het rantsoen leidt tot een verlaging van het melkureumgehalte. Verlaging van het eiwitniveau in het rantsoen dient vooral gericht te zijn op een verlaging van de OEB richting 0 g/dier/dag. Een deel van de verlaging van de OEB kan gerealiseerd worden via het ruwvoer (gebruikmaking van eiwitarme ruwvoeders zoals snijmais, verlaging van N-bemesting op grasland en gras later oogsten), een ander deel via vermindering van het gebruik van eiwitrijk krachtvoer. De mogelijkheden die bedrijven hebben om via het ruwvoer de OEB te verlagen zijn onder andere afhankelijk van de mogelijkheden om het bouwplan te wijzigen of het eiwitgehalte van het ruwvoer te beïnvloeden. Op veengronden zijn die mogelijkheden doorgaans meer beperkt dan bij de overige grondsoorten.

#### 7.4.2 Normvoeding voor DVE

Een overmaat aan darmverteerbaar eiwit in het rantsoen kan niet door het vee benut worden en draagt bij aan stikstofexcretie via de urine en een verhoogd melkureumgehalte. Normvoeding voor DVE is daarom belangrijk bij het streven naar een laag ureumgehalte in melk. Typische grasbedrijven (bijv. veenweidegebied) zullen vanwege het hoge eiwitgehalte in gras, geconfronteerd kunnen worden met een overmaat aan DVE in het basisrantsoen. Verlaging van het DVE-aanbod tot beneden de norm is voor de praktijk niet aan te bevelen. Doorgaans leidt dit tot productiederving (met name van melkeiwit), tenzij aan de aminozuursamenstelling van het rantsoen gerichte aanpassingen mogelijk zijn. Overigens is er ook bij normvoeding voor DVE nog sprake van ureumuitscheiding als gevolg van de eiwitvertering. DVE wordt namelijk slechts voor ongeveer 64% in de stofwisseling benut. Het niet benutbare deel draagt bij aan de ureumuitscheiding via de urine en de melk.



#### *7.4.3 Voldoende energievoorziening melkvee*

Melkkoeien die in een negatieve energiebalans verkeren (dit zijn met name nieuwmelkte koeien), gebruiken een deel van de glucogene aminozuren als energiebron. De stikstof die daarbij vrijkomt, draagt bij aan de uitscheiding van ureum via urine en melk. Door te zorgen voor een voldoende voorziening van melkvee met (glucogene) energie kan dit proces zo veel mogelijk voorkomen worden. Goede glucogene energiebronnen zijn onder andere snijmaïs, granen en aardappelproducten.

#### *7.4.4 Scherpe stikstofbemesting op grasland*

Om voldoende opbrengst van het grasland te krijgen is een goede stikstofbemesting belangrijk. De stikstofbemesting heeft betrekking op de kunstmestgift en het voor die snede werkzame deel van eerder gegeven organische mest. Er kan bewust of onbewust teveel stikstof bemest worden. Teveel bemesten kan optreden als gevolg van onderschatting van het stikstof leverend vermogen (NLV-klasse) van de grondsoort of door geen stikstofcorrectie na droogte toe te passen. Door bemesting boven het stikstofbemestingsadvies neemt de hoeveelheid eiwit in het gras toe. Ook vlinderbloemigen zoals klaver geven door stikstofbinding uit de lucht een verhoging van het eiwitgehalte van het gewas. Tenzij daarvoor wordt gecorrigeerd via andere rantsoencomponenten of via het oogsttijdstip, leidt dit doorgaans tot een verhoging van het melkureumgehalte. Aanscherping van de bemesting is dus een middel om het melkureumgehalte te verlagen. In het veenweidegebied zal echter door een sterke mineralisatie van stikstof in de bodem ook bij een lage N-bemesting nog regelmatig eiwitrijk gras gewonnen worden.

#### *7.4.5 Beweiding beperken*

Ook in het weideseizoen zijn er mogelijkheden om het melkureumgehalte te verlagen. Extensieve bedrijven en/of bedrijven in grasgebieden (veenweidegebied) passen vaak onbeperkte beweiding toe. Het is dan moeilijk om het melkureumgehalte op een laag en stabiel niveau te houden. Als gevolg van wisselingen in grasaanbod, grassamenstelling en grasopname is het rantsoen dan zelden goed uitgebalanceerd en wordt door het melkvee regelmatig meer eiwit opgenomen dan volgens de behoeftenorm nodig is. Bedrijven die beperkt weiden of summerfeeding toepassen, hebben via de voeding op stal mogelijkheden om in de weideperiode het rantsoen beter uit te balanceren. Voor dergelijke, vaak wat intensievere bedrijven, is het eenvoudiger om over het gehele jaar een laag en stabiel melkureumgehalte te realiseren.

#### *7.4.6 Gras oogsten in later groeistadium*

Het moment van inscharen of van maaien is van invloed op het eiwitgehalte van het gras. Bij inscharen of oogsten na relatief weinig groeidagen bevat gras in het algemeen een hoog gehalte aan (onbestendig) eiwit. Het voeren of beweiden van dergelijk jong gras of graskuil geeft daarom in de regel een hoger melkureumgehalte dan het gebruik van gras uit een later groeistadium. Opgemerkt dient te worden dat in het veenweidegebied de botanische samenstelling van het gras meer variatie vertoont dan in andere gebieden. Dit gaat doorgaans samen met een lagere verteerbaarheid en energiewaarde. Door later te oogsten kan de voederwaarde en smakelijkheid dan nog verder achterblijven.

#### *7.4.7 Intensief management van gras/klaver*

Op melkveebedrijven wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van gras/klaver mengsels, vooral op zand- en kleigronden. Klaver heeft het vermogen om stikstof uit de lucht te binden en is daarom goed bruikbaar bij afnemende bemesting op grasland. Het is echter lastig om het klaveraandeel in de zode op een stabiel niveau te houden. In het voorjaar komt de ontwikkeling van klaver traag op gang en is het geoogste gewas vaak relatief eiwitarm. In de zomer neemt onder invloed van warmere en drogere omstandigheden het klaveraandeel en daarmee het eiwitgehalte van het gewas toe. Het is bij het gebruik van gras/klaver mengsels daarom van belang met deze variatie rekening te houden en bijvoorbeeld in de nazomer te zorgen voor eiwitarme bijvoeding (bijv. snijmaïs).

## 7.5 Toepasbaarheid en effectiviteit van maatregelen

Uit paragraaf 7.4 blijkt dat via voeding en graslandmanagement een forse invloed kan worden uitgeoefend op het melkureumgehalte. Het bouwplan en de hoeveelheid en vorm van (kracht)voeraankoop spelen daarbij een rol. Voor het bouwplan geldt dat grondsoort een zeer bepalende factor is bij de gewaskeuze. Vooral op veengrond en zware klei zijn er naast gras weinig gewassen die succesvol in het bouwplan zijn in te passen. Op zandgrond en de wat lichtere kleigronden kunnen met name snijmais, maar ook granen en alternatieve voedergewassen doorgaans goed verbouwd worden. Regionale verschillen zijn dus zeer wezenlijk en hebben een forse invloed op het melkureumgehalte.

Met name voor melkveebedrijven op veengrond, is het realiseren van een laag gemiddeld melkureumgehalte moeilijk haalbaar. De grondsoort leent zich vaak uitsluitend voor het verbouwen van gras en door de sterke mineralisatie van stikstof uit de bodem is het gras bovendien eiwitrijk (met name najaargras). Voor dergelijke bedrijven blijft het aankopen van eiwitarme (kracht)voerders over als nagenoeg enige mogelijkheid om het eiwitniveau in het rantsoen en daarmee het melkureumgehalte te verlagen. Echter, voor extensieve bedrijven is voeraankoop slechts in beperkte mate nodig.

In tabel 29 wordt per grondsoort een indicatie gegeven van de toepasbaarheid en effectiviteit van een aantal belangrijke managementmaatregelen om het melkureumgehalte te verlagen op bedrijfsniveau.

**Tabel 29** Toepasbaarheid en effectiviteit van managementmaatregelen om het melkureumgehalte te verlagen (+++ = hoog, ++ = matig, + = laag); per grondsoort

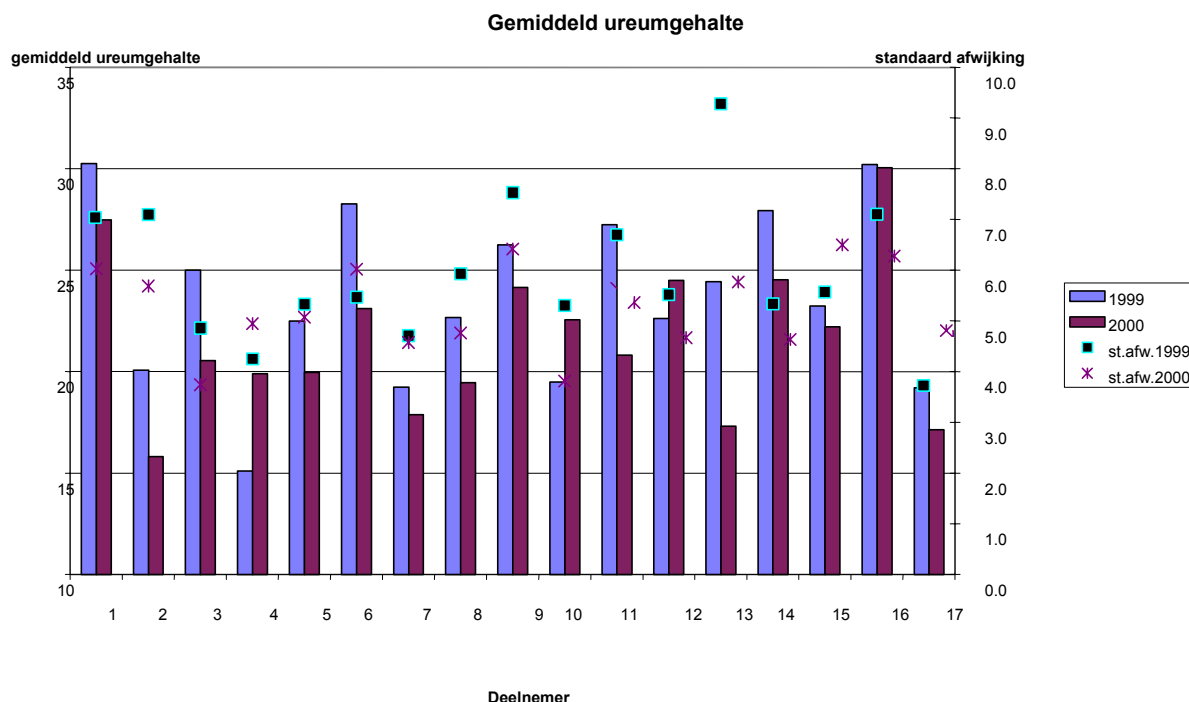
Maatregel	T o e p a s b a a r h e i d			E f f e c t i v i t e i t		
	zand	klei	veen	zand	klei	veen
Verlaging OEB	+++	++	+	+++	+++	+++
Normvoeding DVE	+++	++	+	++	++	++
Goede energievoorziening	+++	+++	+	+	+	++
Scherpe stikstofbemesting	++	+++	+++	+++	+++	+
Beweiding beperken	+++	++	+	++	++	++
Gras later oogsten	+++	+++	++	++	++	++
Managen gras/klover	++	++	+	+	+	+

In hoeverre praktijkbedrijven er in slagen om via managementmaatregelen het melkureumgehalte te verlagen, is deels af te leiden uit de resultaten van de bedrijven uit het project "Koeien en Kansen". Deze bedrijven streven naar verlaging van het mineralenoverschot op hun bedrijf. Als onderdeel daarvan proberen ze in de meeste gevallen om via voedingsmaatregelen te sturen naar een laag melkureumgehalte.

Het gemiddelde ureumgehalte in de tankmelk van de individuele "Koeien en Kansen bedrijven" in 1999 en 2000 is weergegeven in figuur 20. De staven geven het gemiddelde ureumgehalte van 1999 en 2000 weer en de lijnen laten de standaardafwijking van dezelfde jaren zien.

Er zijn drie deelnemers die in 2000 een hoger ureumgehalte hebben dan in 1999. Bij de meeste andere deelnemers is het gemiddelde melkureumgehalte aanzienlijk afgenomen. De standaard afwijking is op de meeste bedrijven ook afgenomen. Gerichte maatregelen lijken dus effect te sorteren, hoewel ook landelijk een verlaging van het melkureumgehalte gerealiseerd werd van 1999 naar 2000 (tabel 28).

**Figuur 20** Gemiddeld melkureumgehalte (mg/100 g) en standaardafwijking in 1999 en 2000 van individuele bedrijven uit het project Koeien en Kansen. De bedrijven zijn genummerd van 1 tot en met 17



Met betrekking tot de bedrijfseconomische kosten van diverse managementmaatregelen is geen eenduidig beeld te vormen. Er zullen maatregelen zijn die doorgaans economisch aantrekkelijk zijn, zoals a) verminderde aankoop eiwitrijk krachtvoer indien de eiwitvoorziening ruim is; b) verminderde aankoop van kunstmeststikstof indien al voldoende ruwvoer van goede kwaliteit wordt gewonnen en c) meer aandacht voor management van gras/klover. Daarentegen zullen andere maatregelen in de regel gepaard gaan met een toename van de kosten, zoals a) beperking van de beweiding op extensieve bedrijven in het veenweidegebied en b) het later oogsten van gras in het veenweidegebied.

Wegens de variatie in bedrijfstypen en bedrijfsvoering in Nederland en de interactie tussen verschillende maatregelen, dient een economische analyse op bedrijfsniveau te worden uitgevoerd.

## 7.6 Toekomstige tendens

De mate waarin melkveehouders de komende jaren zullen slagen in verlaging van de ammoniakemissie via verlaging van het melkureumgehalte, hangt waarschijnlijk sterk af van enerzijds de druk die door MINAS wordt uitgeoefend op het bedrijf en anderzijds van de mate waarin de grondsoort van het bedrijf "flexibel" is ten aanzien van de te verbouwen gewassen. Figuur 21 schetst de verwachte ontwikkelingen onder invloed van MINAS. In de veenweidegebieden is de grond vaak uitsluitend geschikt voor grasland (dus grondsoort is "beperkend") en is de veebezetting vaak laag (dus MINAS-druk is laag). Verlaging van het melkureumgehalte is in die situatie bij de huidige MINAS-normen niet urgent en bovendien moeilijk realiseerbaar (kwadrant links onder in figuur 21). Daarmee samenhangend mag dus nauwelijks een autonome verlaging van de ammoniakemissie via voermaatregelen verwacht worden.

**Figuur 21** De verwachte ontwikkeling van het melkureumgehalte onder invloed van MINAS. Op de X-as is aangegeven in hoeverre de grondsoort geschikt is voor verbouw van verschillende voedergewassen. Op de Y-as is de MINAS druk weergegeven. In de vier kwadranten die door combinatie van de X- en Y-as ontstaan, is weergegeven wat de verwachte impact op het melkureumgehalte is



Op de zandgronden in Oost- en Zuid-Nederland is de veebezetting daarentegen vaak hoog (dus MINAS- druk is hoog) en zijn er mogelijkheden om eiwit-arme, energierijke voedergewassen te verbouwen (dus grondsoort is "flexibel"). In die situatie mag een snelle daling van het melkureum verwacht worden (kwadrant rechtsboven in figuur 21). Een tegengestelde tendens is de overweging van veehouders om, voor zover de grondsoort dit toelaat, maïsland om te zetten in grasland. Dit vanwege de grotere plaatsingsruimte van dierlijke mest op grasland ten opzichte van maïsland (plaatsingsruimte in 2002 respectievelijk 300 en 210 kg N en in 2003 respectievelijk 250 en 170 kg N uit dierlijke mest per ha)<sup>1</sup>. Deze tegengestelde tendens is in figuur 21 buiten beschouwing gelaten.

Bedrijven die een hoge MINAS- druk kennen en bovendien een beperkende grondsoort hebben, zijn ingedeeld in het kwadrant linksboven in figuur 21. Op deze bedrijven is een verlaging van het ureumgehalte in de melk wel urgent, maar moeilijk realiseerbaar.

Ten slotte mag van bedrijven met een flexibele grondsoort en een lage MINAS-druk (kwadrant rechtsonder in figuur 21) worden aangenomen dat een verlaging van het melkureumgehalte mogelijk is, maar traag verloopt omdat de urgentie bij de huidige MINAS-normen gering is.

Onder invloed van MINAS (afrekenen op N-overschot/ha) zullen melkveeouders naar verwachting in de komende jaren minder eiwitrijk (kracht)voer aankopen en minder N-bemesting toepassen. Hierdoor zal eiwitarmere gevoerd worden, het melkureumgehalte dalen en de ammoniakemissie eveneens dalen.

Naast MINAS-druk, grondsoort en gewaskeuze is de discussie omtrent weidegang van invloed op het te verwachten perspectief van voedingsmaatregelen om de ammoniakemissie te beteugelen. Weidegang zal in Nederland naar verwachting afnemen (minder uren weidegang per dag, minder dagen weidegang per jaar en meer bedrijven zonder enige vorm van weidegang) onder invloed van MINAS en het toenemende gebruik van de melkrobot. De ammoniakemissie zal hierdoor in beginsel toenemen. De emissie per geloosde urineplas is in de stal in principe hoger dan in de weide. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat bij stalvoeding beter gestuurd kan worden op melkureum dan bij weidegang. Zonder sturing op melkureum zal de emissie als gevolg van langduriger verblijf in de stal meer toenemen dan met sturing op melkureum. Op sommige bedrijven die nu nog een hoog melkureumgehalte hebben, is door sturing op een forse verlaging van het melkureumgehalte zelfs een afname van de bedrijfsemmissie van ammoniak bij beperkte weidegang mogelijk. Op bedrijven waar 's zomers veel eiwitrijk gras in de weide wordt opgenomen (met daardoor hoge melkureumgehalten), kan een drastische vermindering van het eiwit aanbod door verlaging van de N-gift per hectare grasland en gedeeltelijke vervanging van eiwitrijk gras door eiwitarme voedermiddelen (Smits *et al.*, 1998), bij een verminderd aantal uren weidegang, tot een daling van de ammoniakemissie op bedrijfsniveau leiden.

<sup>1</sup> De plaatsingsruimte vanaf 2003 is onder voorbehoud dat het Nederlandse derogatieverzoek aan de Europese Commissie (EC) wordt gehonoreerd om op grasland per jaar maximaal 250 kg N dierlijke mest per hectare toe te staan in plaats van het door de EC voorgestelde generieke maximum van 170 kg N per hectare agrarisch land (Willems *et al.*, 2000). Voor (nitraat-)uitspoelingsgevoelige gronden worden overigens in het kader van MINAS scherpere maxima gehanteerd (zie <http://www.minlnv.nl/mestloket>)

Het netto-effect en het relatieve belang van de hiervoor genoemde tendensen voor de toekomstige ammoniakemissie kunnen op dit moment niet worden gekwantificeerd. Een aantal bepalende factoren zoals MINAS en weidegang zijn momenteel discussiepunten in beleid en primaire sector. Wel is duidelijk dat een extra impuls voor emissiebeperking door een beloning voor vermindering van het melkureumgehalte effect kan sorteren in het geschetste krachtenveld van tendensen.

### 7.7 Effect van voermaatregelen op overige milieu-aspecten

Uit een recente deskstudie (Veen, 2000) is gebleken dat de methaanproductie van herkauwers toeneemt naarmate de verteerbaarheid van het voer toeneemt. Methaan heeft een nadelige werking als broeikasgas. Het broeikasgaseffect ('global warming potential', GWP) van methaan is 20 maal zo groot als dat van kooldioxide en herkauwers leveren een belangrijke bijdrage aan de methaanuitstoot. In de toekomst zullen voedingsmaatregelen daarom waarschijnlijk ook gericht moeten worden op een zo laag mogelijke methaanemissie. In beginsel is het effect van voermaatregelen op de methaanproductie (via verteerbaarheid) grotendeels onafhankelijk van voermaatregelen die gericht zijn op verlaging van de ammoniakemissie (via uitgebalanceerde energie- en eiwitvoorziening).

Eerder is al gewezen op de grotere nitraatuitspoeling bij weidegang ten opzichte van stalvoeding.

Nitraatuitspoeling in de weide en  $N_2O$ -emissie vanuit de weide zijn in principe gekoppeld (Monteny et al., 2001) via de processen nitrificatie ( $NH_4^+ \rightarrow NO_3^-$ ) en denitrificatie ( $NO_3^- \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$ ).  $N_2O$  heeft een 300 maal zo grote GWP als kooldioxide.

Ook de geuremissie en -beleving kunnen door de samenstelling van het voer beïnvloed worden (Ogink en Aarnink, 2002).

De wenselijkheid om in de nabije toekomst milieuvriendelijker te voeren, vereist dus nadere bestudering en afweging van een palet aan aspecten.

### 7.8 Controle en handhaafbaarheid

Het ureumgehalte van de tankmelk kan als instrument bij de ontwikkeling van een systematiek voor controle en handhaafbaarheid als uitgangspunt dienen. Deze parameter dient regelmatig (zoals nu reeds gebeurt bij melkaflevering) te worden vastgesteld. Aangezien het ureumgehalte schommelingen vertoont gedurende de tijd (bijv. zomer/winter-rantsoen, toevallige factoren), kan gedacht worden aan een periode-gemiddelde of voortschrijdend gemiddelde dat voldoende representatief is voor de bedrijfssituatie en bovendien een acceptabele marge voor onvermijdelijke variaties vormt. Bij de normering kan uitgegaan worden van het landelijke ureumniveau, van een gedifferentieerd niveau bijvoorbeeld per gebied of per individueel bedrijf. Inkadering van een systematiek binnen certificeringsstructuren kan een optie zijn.

Nadeel van het melkureumgehalte als graadmeter voor de ammoniakemissie is dat het kengetal in principe uitsluitend iets zegt over de voeding en de ammoniakemissie van het melkvee. Het ureumgehalte in melk is geen graadmeter voor de ammoniakemissie door jongvee of vleesvee.

## 8 Conclusies

### *Conclusies op basis van onderzoek op het "Voer en emissiebedrijf"*

1. De ammoniakemissie vanuit de melkveestal neemt toe naarmate de OEB van het rantsoen hoger is.
2. De ammoniakemissie vanuit de stal is positief gecorreleerd met het melkureumgehalte en ook met de temperatuur; in het ontwikkelde model met melkureum en temperatuur als verklarende parameters bedraagt het percentage verklaarde variantie 76% ( $r^2=0,76$ ).
3. In het onderzoek bleek de ammoniakemissie vanuit de stal, bij een gegeven OEB, positief gerelateerd aan het snijmaisaandeel. Dat wil zeggen dat de emissie toenam naarmate het snijmaisaandeel toenam. Deze relatie was niet causaal, maar bleek samen te hangen met een strengeling van het snijmaisaandeel met de DVE-opname. Deze strengeling is naar verwachting ook in praktijksituaties veelvuldig aanwezig en houdt verband met een gemiddeld hoge voeropname bij snijmaïsrantsoenen ten opzichte van graskuilrantsoenen.
4. De in het onderzoek berekende betrouwbaarheids- en predictieintervallen zijn geldig voor de situatie van het "Voer- en emissiebedrijf". De berekende intervallen behoeven niet valide te zijn bij gebruik voor andere bedrijven omdat in het onderzoek de variatie tussen bedrijven niet is vastgesteld.
5. De nauwkeurigheid van de in het onderzoek gefitte modellen voor de mediane ammoniakemissie is redelijk, maar de nauwkeurigheid voor de voorspelling van individuele waarnemingen is geringer.
6. De voorspelnauwkeurigheid van het absolute emissieniveau is beperkt. Desondanks is een verandering van het ureumgehalte in tankmelk een goede voorspeller van een verandering in de emissie.
7. Er zijn nog onvoldoende meetgegevens om te kunnen beoordelen of de huidig beschikbare emissiedata representatief zijn voor het gemiddelde emissieniveau van Nederlandse melkveestallen en de in de praktijk optredende variaties.
8. Het verdient aanbeveling om de variatie in stalemissie tussen bedrijven in vervolgonderzoek te kwantificeren. De emissie per bedrijf wordt namelijk ook beïnvloed door niet-voedingsfactoren zoals vloertype en het type mestopslag in de stal.

### *Conclusies voor de praktijk*

9. Er is duidelijk perspectief om ammoniakemissie te verminderen via voedingsmaatregelen.
10. Emissiebeperkende voedingsmaatregelen dienen gericht te zijn op reductie van het stikstofoverschot in het rantsoen en niet op een vergroting van het urinevolume.
11. Verlaging van de onbestendig eiwit balans, normvoeding voor darmverteerbaar eiwit en een voldoende energievoorziening van het melkvee zijn drie belangrijke voedingsmaatregelen om in de praktijk het melkureumgehalte en de ammoniakemissie te verlagen.
12. Via het graslandmanagement kan in de praktijk een verlaging van het melkureumgehalte en de ammoniakemissie gerealiseerd worden, onder andere via verlaging van het stikstofbemestingsniveau en het oogsten in een later groeistadium.
13. De mogelijkheden van een bedrijf om het melkureumgehalte en daarmee de ammoniakemissie te verlagen zijn voor een belangrijk deel afhankelijk van de grondsoort en de daarmee samenhangende mogelijkheden voor de teelt van andere voedergewassen dan gras c.q. aanpassing van het bouwplan.
14. Bedrijven in het veenweidegebied of andere "grasgebieden" hebben minder mogelijkheden om een gemiddeld laag melkureumgehalte te realiseren.
15. Verlaging van de ammoniakemissie vanuit de stal via eiwitarme voeding gaat samen met een verlaging van de ammoniakemissie vanuit de mestopslag en bij mestaanwending.
16. Het landelijk gemiddelde ureumgehalte in tankmelk is sinds de introductie van deze bepaling medio 1998 gedaald van ruim 30 tot 25-26 mg/100 g melk in 2001-2002.
17. Een landelijk gemiddelde reductie van de ammoniakemissie vanuit de melkveestal van 20 tot 25% ten opzichte van 1998 lijkt haalbaar via voedingsmaatregelen.

## Literatuur

### Referenties

- Aar, P.J. van der, A.J.A. Aarnink, M.C. Blok & A.M. van Vuuren, 1996. Veevoeding en ammoniakemissie: Stand van zaken in het onderzoek. Productschap voor Veevoeder Kwaliteitsreeks nr. 37, 87 pp.
- 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
- Bannink, A. en A.M. van Vuuren, 1998. Cation anion difference in dairy cow ratios as a measure to influence urine pH and ammonia emission. ID-DLO rapport no. 98.032. ID-DLO, Lelystad, Nederland.
- Bijgaart, H. van den, 1999. IR-ureumbepalingen in individuele koemelkmonsters van PR-proefbedrijven. Interne notitie MCS Zutphen, 8 juli 1999.
- Brabander, D. de, J. Vanacker, S. Botterman, J. de Boever en Ch. Boucqué, 1999a. Invloedsfactoren op het melkureumgehalte. Mededeling DVV nr. 1108. Departement Dierenvoeding en Veehouderij, Centrum voor Landbouwkundig Onderzoek, Gent, België.
- Brabander, D. de, S. Botterman, J. Vanacker en Ch. Boucqué, 1999b. Het melkureumgehalte als indicator van de voeding en de N-uitstoot. Eindconclusies en interpretaties. Mededeling DVV nr. 1109. Departement Dierenvoeding en Veehouderij, Centrum voor Landbouwkundig Onderzoek, Gent, België.
- Ciszuk, P. en T. Gebregziabher, 1994. Milk urea as an estimate of urine nitrogen of dairy cows and goats. *Acta Agric. Scand.* 44: 87-95.
- CVB, 2002. Tabellenboek Veevoeding 2000. Voedernormen landbouwhuisdieren en voederwaarde veevoerders. Centraal Veevoederbureau, Lelystad.
- DePeters, E.J. en J.P. Cant, 1992. Nutritional factors influencing the nitrogen composition of bovine milk: a review. *J. Dairy Sci.* 75: 2043-2070.
- DePeters, E.J. en J.D. Ferguson, 1992. Nonprotein nitrogen and protein distribution in the milk of cows. *J. Dairy Sci.* 75: 3192-3209.
- Dongen, C.F.J. van, 1999. Melkveevoeding en ammoniakemissie op praktijkbedrijven. *Meststoffen (1999):* 21-27
- Dongen, C.F.J. van, 2000. Ureumproefbedrijven Overijssel: eindrapport. NMI Rapport 350.98, 63 pp.
- Elzing, A. en W. Kroodsmma, 1993. Relatie tussen ammoniakemissie en stikstofconcentratie in urine van melkvee. IMAG-DLO rapport 93-3, 19 pp
- Eriksson, L. en M. Valtonen, 1982. Renal urea handling in goats fed high and low protein diets. *J. Dairy Sci.* 65: 385-389.
- Es, A.J.H. van, 1975. Feed evaluation for dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 2, 95-107.
- Es, A.J.H. van, 1978. Feed evaluation for ruminants. I. The systems in use from May 1978 onwards in the Netherlands. *Livest. Prod. Sci.* 5, 331-345.
- Ferguson, J.D., T. Blanchard, D.T. Galligan, D.C. Hoshall en W. Chalupa, 1988. Infertility in dairy cattle fed a high percentage of protein degradable in the rumen. *J. Am. Vet. Assoc.* 192: 659.
- FOMA, 1994. Naar veehouderij en milieu in balans, Rundvee. 10 jaar FOMA onderzoek. Redactie: M.H.A de Haan en N.W.M. Ogink. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 19 (Rundvee), 164 pp
- Genstat 5 Committee, 1993.
- Gonda, H.L. en J.E. Lindberg, 1994. Evaluation of dietary nitrogen utilization in dairy cows based on urea concentrations in blood, urine and milk, and on urinary concentration of purine derivatives. *Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci.* 44: 236-245.
- Gustafsson, A.H. en D.L. Palmquist, 1993. Diurnal variation of rumen ammonia, serum urea, and milk urea in dairy cows at high and low yields. *J. Dairy Sci.* 76: 475-484.
- Gustafsson, A.H. en J. Carlsson, 1993. Effects of silage quality, protein evaluation systems and milk urea content on milk yield and reproduction in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 37: 91:105.
- Hoek, K.W. van der, 2000. Uitgangspunten voor de mest- en ammoniakberekeningen 1997 tot en met 1999 zoals gebruikt in de Milieubalans 1999 en 2000. RIVM rapport 773004012, ..pp
- Hof, G., S. Tamminga en P.J. Lenaers, 1994. Efficiency of protein utilization in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 38: 169.
- Hof, G., M.D. Vervoorn, P.J. Lenaers en S. Tamminga, 1997. Milk urea nitrogen as a tool to monitor the protein nutrition of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80: 3333-3340.
- Jonker, J.S., R.A. Kohn en R.A. Erdman, 1998. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81: 2681-2692.
- Licata, E., 1985. Subclinical mastitis and urea determination in cows' milk. *Obiettivi e Doc.-Vet.* 6 (12): 65.

- Licata, E., 1985. Subclinical mastitis and urea determination in cows' milk. *Obiettivi e Doc.-Vet.* 6 (12): 65.
- MCS, 1998. *Tarieven 1998*. Melkcontrolestation Nederland, Zutphen, Nederland.
- MCS, 2001. *Tarieven 2001*. Melkcontrolestation Nederland, Zutphen, Nederland.
- Meijer, R.G.M., G.J. Rummelink en Tj. Boxem, 1996. OEB-niveau in melkveerantsoenen. Publicatie 116 Praktijkonderzoek rundvee, Schapen en Paarden (PR), Lelystad, Nederland, 20 p.
- Mephram, T.B., P. Gaye en J.C. Mercier, 1982. Biosynthesis of milk proteins. In: Fox, P.F. (ed), 1982. *Developments in dairy chemistry 1. Proteins*. Elsevier Sci. Publ., New York, Verenigde Staten.
- Monteny, G.J., 2000. Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Wageningen University and Research/IMAG-report 2000-11, PhD-thesis, Wageningen, Nederland, 156 p.
- 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, Praktijkonderzoek Veehouderij (PV) en Centrum voor Landbouw en Milieu (CLM). IMAG rapport 2001-09, Wageningen, Nederland.
- Monteny, G.J., C.M. Groenestein en M.A. Hilhorst, 2001. Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 123-132.
- Mugerwa, J.S. en H.R. Conrad, 1971. Relationship of dietary nonprotein nitrogen to urea kinetics in dairy cows. *J. Nutr.* 101: 1331-1342.
- Oenema et al. , 2001. Forfaitaire waarden voor gasvormige stikstofverliezen uit stallen en mestopslagen . - gewijzigde dr., Alterra rapport 107; 185 pp.
- Ogink, N.W.M. & A.J.A. Aarnink, 2002. Geurreductietechnieken en -maatregelen voor bestaande en nieuwe veehouderijsystemen: raamplan voor onderzoek. IMAG rapport, in voorbereiding.
- Oltner, R. en H. Wiktorsson, 1983. Urea concentrations in milk and blood as influenced by feeding varying amounts of protein and energy to dairy cows. *livest. Prod. Sci.* 10: 457-467.
- Pankratz, A., 1991. *Forecasting with Dynamic Regression Models*. Wiley & Sons. New York, Verenigde Staten.
- Schepers, A.J. en R.G.M. Meijer, 1998. Evaluation of the utilization of dietary nitrogen by dairy cows based on urea concentration in milk. *J. Dairy Sci.* 81: 579-584.
- Scholtens, R. en J.W.H. Huis in 't Veld, 1997. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXVI. Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met betonroosters voor melkvee. Wageningen, DLO rapport 97-1006, 35 pp.
- Šebek, L. B. J., G.J. Gotink en G. van Duinkerken, 2003 (in voorbereiding). Melkureum als schatter voor de stikstofopname en stikstofexcretie van melkveestapels. Praktijkrapport Rundvee. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.
- Smits, M.C.J., H. Valk, A. Elzing, J.W.H. Huis in 't Veld en A. Keen, 1993. Perspectief van beperking van de ammoniakemissie uit melkveestallen door aanpassing van het rantsoen. IMAG-DLO rapport 93-31. IMAG-DLO, Wageningen, Nederland.
- Smits, M.C.J., H. Valk, A. Elzing en A. Keen. 1995 - Effect of protein nutrition on ammonia emission from a cubicle house for dairy cattle. *Livestock Production Science* 44, p. 147-156.
- Smits, M.C.J., A.M. van Vuuren en H. Gunnink. 1996. Beperking ammoniakemissie uit een melkveestal door veevoedingsmaatregelen: effecten van N-excretie in urine en urineloosingsfrequentie. Wageningen, IMAG-DLO rapport 96-06, Wageningen, Nederland, 56 p.
- Smits, M.C.J., A.M. van Vuuren en M.C. Verboon. 1996a - Onderzoek naar urineproductie, urineloosingspatroon en ammoniakemissie bij rundvee. *Produktschap voor Veevoeder, Kwaliteitsreeks nr. 37*, p.65-87.
- Smits, M.C.J., A.M. van Vuuren en H. Gunnink. 1996b - Beperking ammoniakemissie uit een melkveestal door veevoedingsmaatregelen: effecten van N-excretie in urine en urineloosingsfrequentie. Wageningen, IMAG-DLO rapport 96-06, 56 pp.
- 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*. S.C. Jarvis and B.F. Pain (eds). CAB International 1997. Oxon (UK), p.101-107.
- Smits, M.C.J., G.J. Monteny en H. Valk. 1998 - Effecten van bijvoeding, N-bemesting en beweiding op ammoniakemissie van melkkoeien. Een deskstudie. Wageningen, IMAG-DLO rapport 98-07, 62 p.
- Smits, M.C.J., 2001. *Persoonlijke mededeling*. IMAG, Wageningen, Nederland.
- Smits, M.C.J., 2002. *Persoonlijke mededeling*. IMAG, Wageningen, Nederland.
- Steenvoorden, J.H.A.M., W.J. Bruins, M.M. van Eerd, 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. Reeks Milieuplanbureau 6. DLO-Staring Centrum, Wageningen, 141pp.
- Straalen, W.M., 1995. Modelling of nitrogen flow and excretion in dairy cows. *Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, Nederland*, 205 p.



- Tamminga, S., W.M. van Straalen, A.P.J. Subnel, R.G.M. Meijer, A. Steg, C.J.G. Wever en M.C. Blok, 1994. The Dutch protein evaluation system: the DVE/OEB-system. *Livest. Prod. Sci.* 40: 139-155.
- Tamminga, S., A. W. Jongbloed, M.M. van Eerd, H.F.M. Aarts, F. Mandersloot, N. Hoogervorst en H. Westhoek, 2000. De forfaitaire excretie van stikstof door landbouwhuisdieren. Rapport ID-Lelystad no. 00-2040, 71 pp.
- UAV, 1999. Wijziging uitvoeringsrichtlijn ammoniakemissie en veehouderij (VROM & LNV). *Staatscourant* 139, p. 16.
- Valk, H. en M. Hobbelink, 1992. Supplementation of grazing dairy cows to reduce environmental pollution. *Proc. 14th general Meeting EGF, Lahti, Finland.* p. 400-405.
- Veen, W.A.G., 2000. Veevoedermaatregelen ter vermindering van methaanproductie door herkauwers; een deskstudie. Rapport, De Schothorst, Lelystad, 56 pp.
- VROM, 2002. Regeling ammoniak en veehouderij. *Staatscourant* 82 (1 mei 2002): p. 16.
- Vuuren, A.M. van, Koelen, C.J. van der, Valk, H. en H. de Visser, 1993. Effects of partial replacement of ryegrass by low protein feeds on rumen fermentation and nitrogen loss by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 76: 2982-2993.
- Vuuren, A.M. van, 1994. Digestion and nitrogen metabolism of grass fed dairy cows. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, Nederland.
- Vuuren, A.M. van, G. van Duinkerken, J. Bakker en M.C. Blok, 2003. Pensynchronisatie: verbetering van de nutriëntenopbrengst uit de pens (in voorbereiding).
- Vuuren, A.M. van, en S. Tamminga, 2001. De fysiologische basis voor de minimale onbestendig-eiwit balans in melkveersoepen. CVB-documentatierapport 28. Centraal Veevoederbureau, Lelystad, Nederland. .
- Wever, C. , R. van Slijpe & K. Bronwasser, 1997. Voeding en ammoniakemissie. Anticiperend onderzoek naar de mogelijkheden van voedingsmaatregelen in de AmvB-Huisvesting. IKC rapport 26, 37 pp.
- Willems, W.J., T.V. Vellinga, O. Oenema, J.J. Schröder, H.G. van der Meer, B. Fraters & H.F.M. Aarts, 2000. Onderbouwing van het Nederlandse derogatieverzoek in het kader van de Europese Nitraatrichtlijn, RIVM rapport 718201002 (zie [www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/718201002.pdf](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/718201002.pdf)).
- Zom, R.L.G., G.J. Rummelink en G. van Duinkerken, 2001. Sturing van het melkureumgehalte op dierniveau via de voeding. PV-rapport nr. 215. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad, Nederland.
- Zom, R.L.G., J.W. van Riel, G. André en G. van Duinkerken, 2002. Voorspelling voeropname met Koemodel 2002. Praktijkrapport Rundvee 11. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

## Verwante publicaties

Onderdelen uit het project "Voeding en ammoniak" van Praktijkonderzoek Veehouderij en IMAG, dat ten grondslag heeft gelegen aan dit rapport, zijn beschreven in de volgende publicaties:

- Boer, I.J.M. de, M.C.J. Smits, H. Mollenhorst, G. van Duinkerken en G.J. Monteny, 2002. Prediction of ammonia emission from dairy barns using feed characteristics. Part I: Relation between feed characteristics and urinary urea concentration. Submitted to *Journal of Dairy Science*.
- Duinkerken, G. van, A.J.H. van Lent en M.C.J. Smits, 1999. Minder ammoniak door voeding? *Praktijkonderzoek* 1999 (5), Lelystad, Nederland.
- Duinkerken, G. van, G. André, M.J.M. Wagemans & M.C.J. Smits, 2001. Voerspoor werkbaar en controleerbaar; melkureum als instrument om effect voeding op ammoniakemissie in te schatten. *Veeteelt*, februari 2, p 64-65
- Duinkerken, G. van, G. André, M.C.J. Smits en M.J.M. Wagemans, 2001. Het effect van voedingsaanpassingen op ammoniakemissie vanuit melkveestallen. Samenvatting Studiedag Nederlandstalige Voedingsonderzoekers 2002, Gent, België.
- Monteny, G.J., 2000. Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Wageningen University and Research/IMAG-report 2000-11, PhD-thesis, Wageningen, Nederland, 156 p.
- 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, Praktijkonderzoek Veehouderij (PV) en Centrum voor Landbouw en Milieu (CLM). IMAG rapport 2001-09, Wageningen, Nederland.
- Monteny, G.J., M.C.J. Smits, G. van Duinkerken, H. Mollenhorst en I.J.M. de Boer, 2002. Prediction of ammonia emission from dairy barns using feed characteristics. Part II: Relation between urinary urea concentration and ammonia emission. Submitted to *Journal of Dairy Science*.
- Smits, M.C.J., G. van Duinkerken en G.J. Monteny, 2002. Mogelijkheden van ammoniakemissie beperkende voermaatregelen in de melkveehouderij. Gezamenlijk rapport IMAG en Praktijkonderzoek Veehouderij (PV). Nota P 2002-36, juni 2002, IMAG, Wageningen, Nederland.
- Smits, M.C.J., G.J. Monteny en G. van Duinkerken, 2002. Effect of nutrition and management on ammonia emission from dairy cow houses: experiments and models. Abstract EAAP, Cairo, Egypte, 2002.

## Bijlagen

### Bijlage 1

Tabel 1-1 De verdeling (behandelingsgemiddelden) van de opgenomen stikstof (g/d) over melk, faeces en urine, gewogen naar het aantal lacterende en droogstaande dieren, uitgaande van een verwaarloosbare N-retentie in het lichaam.

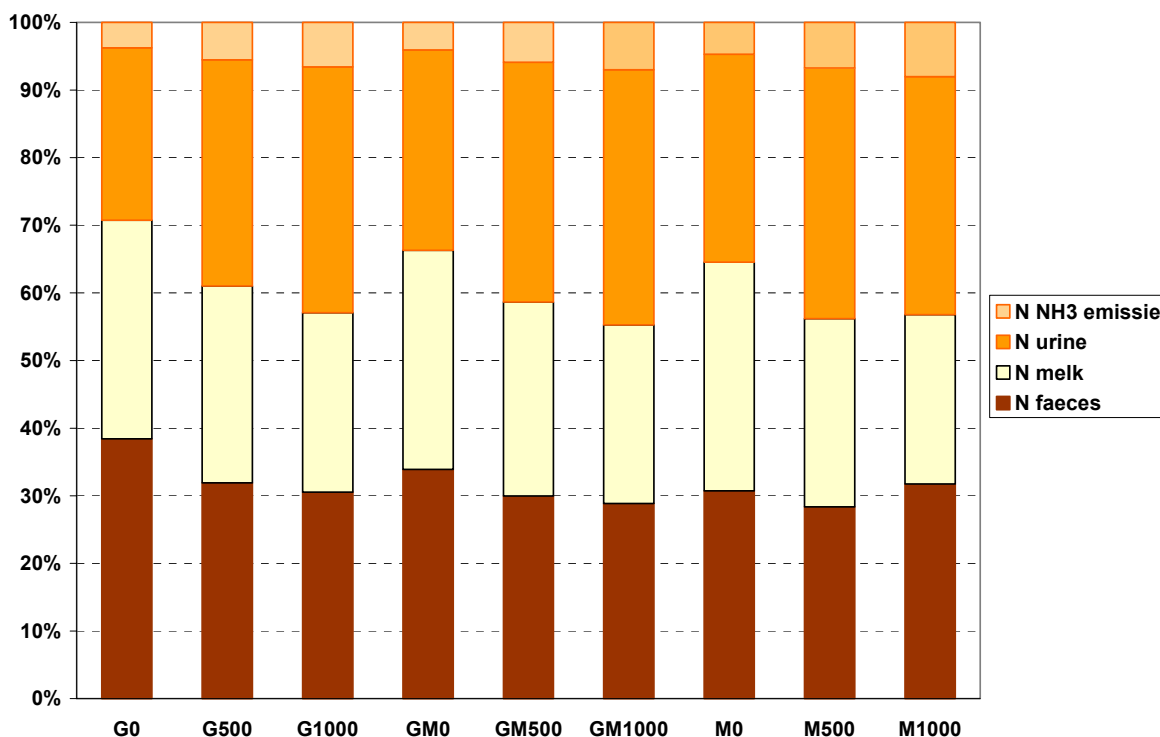
	G0	G500	G1000	GM0	GM500	GM1000	M0	M500	M1000
N voeropname (gemeten)	395	456	491	438	524	571	460	534	629
N melk (gemeten)	120	121	114	133	142	142	151	143	154
N faeces (restpost)	155	149	153	151	158	161	140	146	196
N urine*	105	158	187	134	190	223	145	205	225
N NH3 emissie (gemeten)	16	28	37	20	33	45	24	40	54

\* N urine is hier weergegeven na aftrek van de ammoniakemissie uit de stal;

N urine is gebaseerd op de gemeten concentraties van stikstof in steekproefsgewijs genomen urinemonsters en een berekend urinevolume volgens een regressiemethode van Bannink *et al.* (1998).

### Bijlage 2

Figuur 2-1 De verdeling (behandelingsgemiddelden) van de opgenomen stikstof (g/d) over melk, faeces en urine als percentage van de opgenomen hoeveelheid stikstof. Hierbij is gewogen naar het aantal lacterende en droogstaande dieren in de stal



**Bijlage 3****Toelichting uitdoofeffect (decay)**

In een eenvoudige regressieformule is het uitdoofeffect:  $\Delta = \beta X$ . In een (eenvoudig) dynamisch regressiemodel

is het effect op tijdstip  $t$ :  $\Delta_t = \frac{\omega}{1 - \delta B} X_t$  met  $0 < \delta < 1$ . Dit is als volgt uit te werken:

$$(1 - \delta B)\Delta_t = \omega X_t \Leftrightarrow$$

$$\Delta_t - \delta \Delta_{t-1} = \omega X_t \Leftrightarrow$$

$$\Delta_t = \omega X_t + \delta \omega X_{t-1} + \delta^2 \omega X_{t-2} + \delta^3 \omega X_{t-3} + \dots$$

Merk op dat dit een lineaire vergelijking is waarbij de coëfficiënt stapsgewijs daalt met factor  $\delta$ . Wanneer  $\delta$  erg klein is zijn latere termen al snel te verwaarlozen, er is weinig effect van voorgaande tijdstippen. Is  $\delta$  bijna gelijk aan 1 dan is er gedurende lange tijd invloed van voorgaande tijdstippen merkbaar.

Voor predictie wordt gesteld dat de regressor constant is, dus  $X_t = X_{t-1} = X_{t-2} = \dots = X$ .

Dan volgt:

$$\Delta_t = (1 + \delta + \delta^2 + \delta^3 + \dots)\omega X \Leftrightarrow$$

$$\Delta = \frac{\omega}{1 - \delta} X$$

Het effect is dan niet meer tijdsafhankelijk en de formule is gelijk aan de hiervoor gegeven formule voor het effect bij eenvoudige regressie, met regressiecoëfficiënt  $\beta = \frac{\omega}{1 - \delta}$ .

**Bijlage 4****Tabel 4-1** Samenvatting van de uitkomsten van de dynamische regressieanalyses

Model	Dev	s <sup>2</sup> a	dof	phi	N	k	Nln(D)	Nln(D)+2k	s <sup>2</sup> tot	r <sup>2</sup>	ddf	Dcrit	opmerking mbt ddf en dcrit
F4.1 leeg	5056	19,85	253	0,8995	255	2	2174,7	2178,7	103,9813	0,00	0	0,00	leeg model
F4.2 volledig	1212	4,929	245	0,7699	255	10	1810,5	1830,5	12,1030	88,36	8	-364	t.o.v. leeg model F4.1
F4.3 d1=d2=d3	1216	4,906	247	0,7702	255	8	1811,4	1827,4	12,0602	88,40	-2	0,9	t.o.v. volledig model F4.2
F4.4 -OEB <sup>2</sup>	1218	4,893	248	0,7712	255	7	1811,8	1825,8	12,0740	88,39	-3	1,3	t.o.v. volledig model F4.2
F4.5 -%M	1227	4,911	249	0,7806	255	6	1813,6	1825,6	12,5709	87,91	-4	3,1	t.o.v. volledig model F4.2
F3.1 leeg	10,99	0,01738	630	0,9557	763	133	1828,9	2094,9	0,2006	0,00	0	0,00	leeg model
F6.1 + klimaat	9,230	0,01487	619	0,9481	763	144	1695,7	1983,7	0,1471	26,69	11	-133,2	t.o.v. leeg model F3.1
F6.2 volledig	7,501	0,01226	611	0,8314	763	152	1537,5	1841,5	0,0397	80,21	19	-291,4	t.o.v. leeg model F3.1
F6.3 - OM	7,500	0,01222	613	0,8343	763	150	1537,4	1837,4	0,0402	79,96	-2	-0,1	t.o.v. volledig model F6.2
F6.4 -%M <sup>2</sup>	7,501	0,01220	614	0,8362	763	149	1537,5	1835,5	0,0406	79,78	-3	0	t.o.v. volledig model F6.2
F6.5 -Ws <sup>2</sup>	7,505	0,01218	615	0,8349	763	148	1537,9	1833,9	0,0402	79,96	-4	0,4	t.o.v. volledig model F6.2
F6.6 -T <sup>2</sup>	7,531	0,01221	616	0,8388	763	147	1540,5	1834,5	0,0412	79,47	-5	3,0	t.o.v. volledig model F6.2
F6.7 d1=d2	7,531	0,01219	617	0,8384	763	146	1540,5	1832,5	0,0410	79,55	-6	3,0	t.o.v. volledig model F6.2
F6.8 -D	7,594	0,01225	619	0,8367	763	144	1546,9	1834,9	0,0408	79,64	-8	9,4	t.o.v. volledig model F6.2
F6.9 -Wr	7,901	0,01266	623	0,8320	763	140	1577,1	1857,1	0,0411	79,50	-12	39,6	t.o.v. volledig model F6.2
F6.10 -Ws	8,061	0,01290	624	0,8405	763	139	1592,4	1870,4	0,0439	78,09	-13	54,9	t.o.v. volledig model F6.2
F7.1 + DVE,DVE <sup>2</sup>	8,035	0,01292	621	0,8406	763	142	1589,9	1873,9	0,0440	78,05	3	-2,5	t.o.v. volledig model F6.10
F7.2 -%M	8,168	0,01311	622	0,8556	763	141	1602,5	1884,5	0,0489	75,61	-1	12,6	t.c.v. model F7.1
F7.3 D6=d7	8,168	0,01309	623	0,8563	763	140	1602,5	1882,5	0,0491	75,54	-2	12,6	t.c.v. model F7.1
F7.4 +OEB*DVE	8,164	0,01310	622	0,8579	763	141	1602,1	1884,1	0,0496	75,27	-1	12,2	t.c.v. model F7.1
F7.5 -OEB*DVE,DVE <sup>2</sup>	8,169	0,01307	624	0,8562	763	139	1602,6	1880,6	0,0490	75,59	-3	12,7	t.c.v. model F7.1
F8.1 +K	8,060	0,01294	622	0,8384	763	141	1592,3	1874,3	0,0436	78,29	1	2,4	t.c.v. model F7.1
F8.2 +Na	8,087	0,01298	622	0,8405	763	141	1594,9	1876,9	0,0442	77,96	2	5,0	t.c.v. model F7.1

**Tabel 4-1** vervolg Samenvatting van de uitkomsten van de dynamische regressieanalyses

Model	Dev	s <sup>2</sup> a	dof	phi	N	k	Nln(D)	Nln(D)+2k	s <sup>2</sup> tot	r <sup>2</sup>	ddf	Dcrit	opmerking mbt ddf en dcrit
F9.1 +Ur,Ur <sup>2</sup>	7,994	0,01285	621	0,8298	763	142	1586,0	1870,0	0,0413	79,43	2	-6,4	t.o.v. volledig model F6.10
F9.2 -OEB2	8,043	0,01291	622	0,8454	763	141	1590,7	1872,7	0,0453	77,44	-1	4,7	t.o.v. volledig model F9.1
F9.3 -OEB	8,393	0,01345	623	0,8446	763	140	1623,2	1903,2	0,0469	76,61	-2	37,2	t.o.v. volledig model F9.1
F9.4 -%M	8,428	0,01346	625	0,8504	763	138	1626,4	1902,4	0,0486	75,76	-4	40,4	t.o.v. volledig model F9.1

Toelichting bij statistische termen/afkortingen

Dev	deviance
s <sup>2</sup> a	innovatievariantie
dof	degrees of freedom: vrijheidsgraden
phi	autocorrelatiecoëfficiënt
N	aantal waarnemingen
k	aantal geschatte parameters (= aantal estimates + missende waarnemingen waarvoor een waarde wordt geschat)
Nln(D)+2k	N*ln(deviance)+2k: het criterium voor de zogenaamde deviance toets
Nln(D)	N*ln(deviance)
s <sup>2</sup> tot	totale variantie
r <sup>2</sup>	percentage verklaarde variantie
ddf	delta degrees of freedom: afname van het aantal vrijheidsgraden ten opzichte van een vorige model van de stapsgewijze analyse
dcrit	delta criterium: toename van het criterium ten opzichte van een vorige model van de stapsgewijze analyse

## Bijlage 5

### Berekening betrouwbaarheids- en predictieintervallen voor ammoniakemissie

De analyses die zijn uitgevoerd om enerzijds de relatie tussen ammoniakemissie en voeding en anderzijds de relatie tussen ammoniakemissie en het ureumgehalte van tankmelk vast te stellen hebben geresulteerd in de modellen F6.10 en F9.4. Op grond van deze modellen zijn voorspellingen berekend voor de ammoniakemissie bij gegeven waarden van de voedingsvariabelen, respectievelijk gegeven waarde van het ureumgehalte in de tankmelk. Essentieel is een indicatie van de nauwkeurigheid van de voorspellingen. Als maat voor de nauwkeurigheid worden betrouwbaarheids- en predictieintervallen genomen. Van essentieel belang daarbij is voor welk doel de voorspellingen worden gebruikt, zodat de relevante bronnen van variatie bij de nauwkeurigheidberekeningen worden meegenomen. Omdat de berekeningen gebaseerd zijn op emissie data van het "Voer- en emissiebedrijf", zijn de berekende intervallen geldig voor de situatie van dat bedrijf. De berekende intervallen behoeven niet valide te zijn bij gebruik voor andere bedrijven omdat bij de berekeningen de variatie tussen bedrijven niet kon worden meegenomen.

#### Constructie van betrouwbaarheidsintervallen en predictieintervallen

Bij de modellering is aangenomen dat procentuele effecten van de verklarende variabelen op de ammoniak emissie meer op zijn plaats zijn dan constante effecten. Daarom zijn modellen gemaakt voor de logaritmische waarden van de emissie waarnemingen. 95 % betrouwbaarheidsintervallen voor de mediane ammoniak emissie worden verkregen door eerst een betrouwbaarheidsinterval voor de gemiddelde  $\ln(\text{emissie})$  te construeren, waarna een betrouwbaarheidsinterval voor de mediane emissie wordt verkregen door de e-macht te nemen van de onder en bovengrens van het betrouwbaarheidsinterval op de logschaal. Daarnaast wordt een 95 % predictieinterval geconstrueerd voor de met het model voorspelde ammoniakemissie van een individuele waarneming.

De gevolgde methodiek wordt geïllustreerd voor model F6.10, dat gebruikt is voor de beschrijving van de relatie tussen de  $\ln(\text{ammoniak emissie})$  en de voedingsvariabelen beschrijft. Het model heeft de vorm

$$\ln(\text{emissie}_t) = Z_t = C + \omega_1 S_t + \omega_2 T_t + \frac{\omega_6}{1 - \delta B} M_t + \frac{\omega_{71}}{1 - \delta B} O_t + \frac{\omega_{72}}{1 - \delta B} O_t^2 + \frac{1}{1 - \phi B} a_t$$

of kort geschreven

$$Z_t = \text{gemiddelde}_t + e_t$$

Hierin is

$$\text{gemiddelde}_t = C + \omega_1 S_t + \omega_2 T_t + \frac{\omega_6}{1 - \delta B} M_t + \frac{\omega_{71}}{1 - \delta B} O_t + \frac{\omega_{72}}{1 - \delta B} O_t^2$$

en

$$e_t = \frac{1}{1 - \phi B} a_t$$

$e_t$  stelt het residuele effect voor. In het model is aangenomen dat de residuele effecten normaal verdeeld zijn met gemiddelde 0 en variantie gelijk aan  $\sigma_{tot}^2$ . Bovendien is aangenomen dat de residuele effecten gecorreleerd zijn en dat de correlatie kan worden beschreven met een autoregressiemodel van de orde 1 met autocorrelatie coëfficiënt  $\phi$ ; in dit geval is  $\sigma_{tot}^2 = \frac{\sigma_a^2}{1 - \phi^2}$  met  $\sigma_a^2$  de innovatie variantie

Voor predictie wordt gesteld dat de verklarende variabelen  $S_t, T_t, M_t$  en  $O_t$  constant zijn. Het gemiddelde voor shelter 2 wordt dan

$$m \equiv \text{gemiddelde} = C + \omega_2 T + \frac{\omega_6}{1 - \delta} M + \frac{\omega_{71}}{1 - \delta} O + \frac{\omega_{72}}{1 - \delta} O^2$$

Bij aanpassen van het model aan de data worden schattingen voor de modelparameters verkregen. Een schatting voor het gemiddelde wordt verkregen door de schattingen voor de modelparameters in te vullen. Dit geeft

$$\hat{m} \equiv \text{gemiddelde} = \hat{C} + \hat{\omega}_2 T + \frac{\hat{\omega}_6}{1-\delta} M + \frac{\hat{\omega}_{71}}{1-\delta} O + \frac{\hat{\omega}_{72}}{1-\delta} O^2$$

Onder de aanname dat de verdeling van het geschatte gemiddelde  $\hat{m}$  benaderd mag worden met een normale verdeling wordt als 95% betrouwbaarheidsinterval voor het geschatte gemiddelde genomen

$$BI_{\text{gemiddelde ln(emissie)}} = (\hat{m} - 1.96\sqrt{\text{var}(\hat{m})}, \hat{m} + 1.96\sqrt{\text{var}(\hat{m})})$$

Omdat individuele waarnemingen van  $\ln(\text{emissie})$  rond het werkelijke gemiddelde  $m$  bij gegeven waarden van  $T, M$  en  $O$  variëren met een variantie gelijk aan de residuele variantie  $\sigma_{tot}^2$ , wordt een voorspelde waarde van een toekomstige waarneming eveneens gegeven door  $\hat{m}$ . De variantie voor een voorspelde individuele waarneming is de som van de variantie van de schattingsfout van het berekende gemiddelde en de residuele variantie. Een 95% predictieinterval voor een individuele waarneming van  $\ln(\text{emissie})$  wordt gegeven door

$$PRED_{\text{interval indiv. waarneming ln(emissie)}} = (\hat{m} - 1.96\sqrt{\text{var}(\hat{m}) + \sigma_{tot}^2}, \hat{m} + 1.96\sqrt{\text{var}(\hat{m}) + \sigma_{tot}^2})$$

Door de e-macht van het geschatte gemiddelde  $\hat{m}$  te nemen wordt een schatting van de **mediane** ammoniak emissie bij gegeven waarden van  $T, M$  en  $O$  verkregen. Een 95% betrouwbaarheidsinterval voor de mediane emissie wordt verkregen door de e-macht van de onder en bovengrens van het betrouwbaarheidsinterval te nemen:

$$BI_{\text{mediane emissie}} = (e^{\hat{m}-1.96\sqrt{\text{var}(\hat{m})}}, e^{\hat{m}+1.96\sqrt{\text{var}(\hat{m})}})$$

Op analoge wijze wordt uit predictie interval voor  $\ln(\text{emissie})$ , predictie interval voor een individuele emissie waarneming bij gegeven waarde van  $T, M$  en  $O$  verkregen. Dit geeft:

$$PRED_{\text{interval toekomstige emissiewaarde}} = (e^{\hat{m}-1.96\sqrt{\text{var}(\hat{m})+\sigma_{tot}^2}}, e^{\hat{m}+1.96\sqrt{\text{var}(\hat{m})+\sigma_{tot}^2}})$$

### Berekening van $\text{var}(\hat{m})$

In het voorafgaande is de constructie van de intervallen beschreven. In deze paragraaf wordt ingegaan op de berekening van de variantie van de schatter van het gemiddelde.

Het gemiddelde  $m = m(X, \theta)$  is een functie van de verklarende variabelen  $X = (T, M, O, O^2)$  en de modelparameters  $\theta = (C, \omega_2, \delta, \omega_6, \omega_{71}, \omega_{72})$ . Voor de schatting van het gemiddelde geldt

$$\hat{m} = m(X, \hat{\theta}).$$

Omdat  $\hat{m}$  niet lineair van de uitdoings parameter  $\delta$  afhangt is de berekening van de variantie van  $\hat{m}$  wat ingewikkelder. Het geschatte gemiddelde  $\hat{m}$  wordt ontwikkeld in een Taylor-reeks rond de verwachtingswaarde  $E(\hat{\theta})$  van  $\hat{\theta}$ . Dit resulteert in

$$\hat{m} = m(X, \hat{\theta}) = m(X, E(\hat{\theta})) + \sum_{i=1}^5 \left( \frac{\partial m}{\partial \theta_i} \right)_{E(\hat{\theta})} (\hat{\theta}_i - \theta_i) + \text{hogere orde termen}$$

met  $\frac{\partial m}{\partial \theta_i}$  de partiële afgeleide van  $m$  naar  $\theta_i$ .

Het benoemde deel in de Taylor-ontwikkeling is de lineaire benadering voor  $\hat{m}$ .

Er geldt:

$$\hat{m} \approx m(X, E(\hat{\theta})) + \sum_{i=1}^5 \left( \frac{\partial m}{\partial \theta_i} \right)_{E(\hat{\theta})} (\hat{\theta}_i - \theta_i)$$

Zodat

$$E(\hat{m}) \approx m(X, E(\hat{\theta}))$$

$$\text{var}(\hat{m}) \approx \text{var}\left(\sum_{i=1}^5 \left( \frac{\partial m}{\partial \theta_i} \right)_{\hat{\theta}} (\hat{\theta}_i - \theta_i)\right) = \left( \frac{\partial m}{\partial \theta} \right)_{\hat{\theta}}^T \text{var}(\hat{\theta}) \left( \frac{\partial m}{\partial \theta} \right)_{\hat{\theta}}$$

met

$$\left( \frac{\partial m}{\partial \theta} \right)^T = \left( \frac{\partial m}{\partial \theta_1}, \dots, \frac{\partial m}{\partial \theta_5} \right),$$

de vector van partiële afgeleiden van  $m$  naar de parameters  $\theta = (C, \omega_2, \delta, \omega_6, \omega_{71}, \omega_{72})$  en

$\text{var}(\hat{\theta})$  de variantie-covariantie matrix van de parameterschattingen.

Voor de partiële afgeleiden van  $m$  naar de modelparameters geldt:

$$\frac{\partial m}{\partial C} = 1$$

$$\frac{\partial m}{\partial \omega_2} = T$$

$$\frac{\partial m}{\partial \delta} = \frac{\omega_6}{(1-\delta)^2} M + \frac{\omega_{71}}{(1-\delta)^2} O + \frac{\omega_{72}}{(1-\delta)^2} O^2$$

$$\frac{\partial m}{\partial \omega_6} = \frac{M}{(1-\delta)}$$

$$\frac{\partial m}{\partial \omega_{71}} = \frac{O}{(1-\delta)}$$

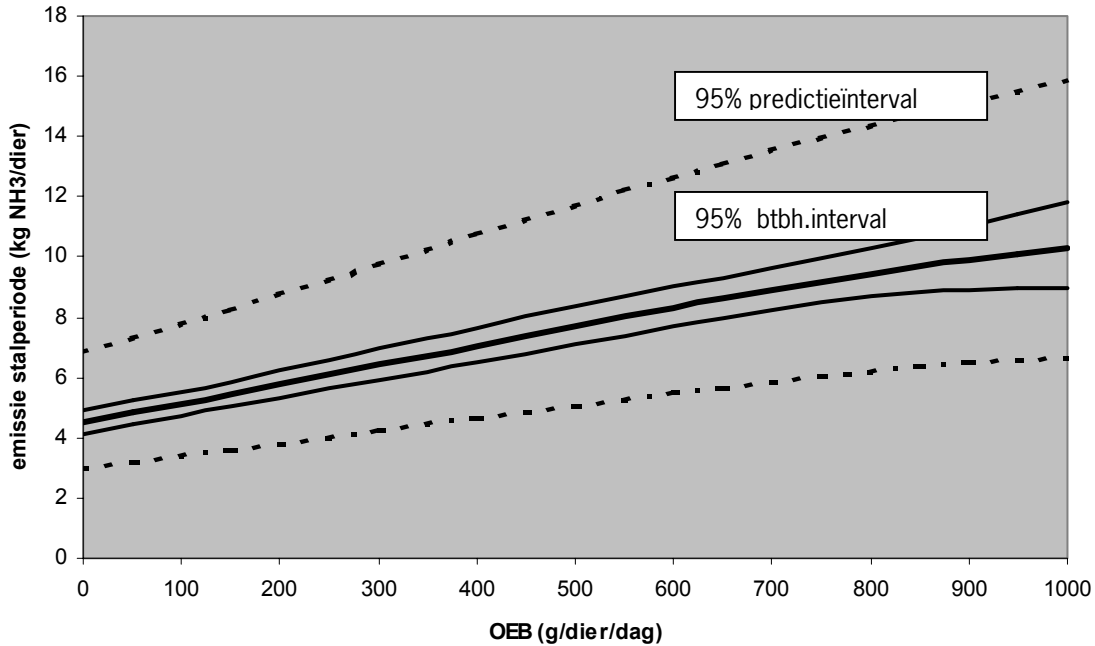
$$\frac{\partial m}{\partial \omega_{72}} = \frac{O^2}{(1-\delta)}$$



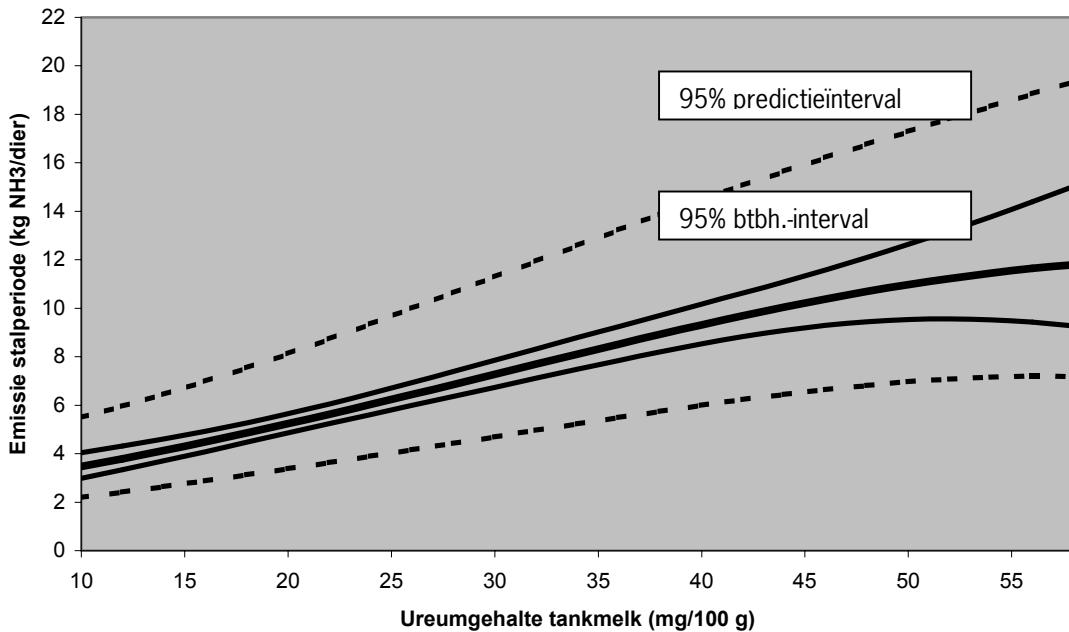
Resultaten

In de Figuren 5-1 en 5-2 zijn voor achtereenvolgens model F6.10 en model F9.4 de berekende mediane ammoniak emissie, alsmede de onder en bovengrenzen van het 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de mediane emissie en het 95%-predictieinterval van individuele waarnemingen van de emissie weergegeven.

**Figuur 5-1** Mediane emissie, 95%-betrouwbaarheidsinterval en 95%-predictieinterval op grond van model F6.10 voor een rantsoen waarbij het ruwvoer van het melkgevend vee bestaat uit 50% graskuil en 50% snijmais (ds-basis), shelter 2 en een gestandaardiseerde temperatuur van 15°C



**Figuur 5-2** Mediane emissie, 95%-betrouwbaarheidsinterval en 95%-predictieinterval op grond van model F9.4 voor shelter 2 en een gestandaardiseerde temperatuur van 15°C



### Conclusies

Figuren 5-1 en 5-2 geven aan dat de nauwkeurigheid van de gefitte modellen voor de mediane ammoniakemissie redelijk is, maar dat de nauwkeurigheid voor de voorspelling van individuele waarnemingen beperkt is. De grootste bijdrage aan de breedte van het interval voor nieuwe waarnemingen wordt geleverd door de residuele variantie. Als de interesse uitgaat naar absolute ammoniakemissie, is de nauwkeurigheid van de predictie op basis van voerkenmerken of ureumgehalte in de tankmelk gering. Hoewel de nauwkeurigheid van voorspellingen van absolute niveaus beperkt is, betekent dit niet dat het voorspellen van emissiereductie als gevolg van reductie van het ureumgehalte in tankmelk ook niet erg nauwkeurig is. Dit aspect is van belang als de interesse uitgaat naar het effect van reductie van het tankmelkureumgehalte op de ammoniakemissie.