

# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 588

## Invloed van eiwitgehalte en toevoeging calciumchloride op de ammoniakemissie uit vleesvarkensstallen

Mei 2012



**LIVESTOCK RESEARCH**  
**WAGENINGEN UR**

## Colofon

### Uitgever

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 65, 8200 AB Lelystad  
Telefoon 0320 - 238238  
Fax 0320 - 238050  
E-mail [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

### Redactie

Communication Services

### Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2012

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

### Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

### Abstract

The effects on the emissions from pig houses of a low protein diet with and without the partial replacement of calcium carbonate by calcium chloride were studied. Per 10 gram reduction of crude protein content, the ammonia emission decreased 14%. The partial replacement of calcium carbonate by calcium chloride did not have an additional effect on ammonia emission.

### Keywords

Diet protein ammonia emission pigs urine

### Referaat

ISSN 1570 - 8616

### Auteur(s)

MCJ Smits, JMG Hol, CMC van der Peet-Schwering, AJA Aarnink

### Titel

Invloed van eiwitgehalte en toevoeging calciumchloride op de ammoniakemissie uit vleesvarkensstallen

Rapport 588

### Samenvatting

De effecten op de emissies uit praktijkstallen werden onderzocht van eiwitarm voer zonder en met gedeeltelijke vervanging van calciumcarbonaat door calciumchloride. De ammoniakemissie nam af met ca. 14% per 10 gram per kilogram verlaging van het ruw eiwitgehalte in het voer. Calciumchloride had geen additioneel effect op de ammoniakemissie.

### Trefwoorden

Voer eiwit ammoniak emissie varkens urine



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN UR



Rapport 588

## Invloed van eiwitgehalte en toevoeging calciumchloride op de ammoniakemissie uit vleesvarkensstallen

Effects of protein content and addition of calcium chloride in the diet on ammonia emission from houses for growing-finishing pigs

MCJ Smits  
JMG Hol  
CMC van der Peet-Schwering  
AJA Aarnink

Mei 2012



## Voorwoord

In opdracht van het Productschap Vee en Vlees (PVV) en het ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) is in 4 praktijkstallen naar emissiereducties bij toepassing van eiwitarm voer en eiwitarm voer waarbij calciumcarbonaat gedeeltelijk is vervangen door calciumchloride. In additioneel onderzoek is nagegaan wat de impact van de laatste voermaatregel is op de botmineralisatie. Aan het onderzoek is meegewerkt door de varkenshouders en door Agrifirm. Het onderzoek is begeleid door een klankbordgroep van het Productschap Vee en Vlees. Daarnaast is de voortgang van het onderzoek regelmatig besproken met Erik Bruininx en Frans van Poppel, R&D managers van Agrifirm.

Wij zijn allen die hebben meegewerkt aan dit onderzoek zeer erkentelijk voor hun bijdrage.

Wij hopen dat mede op basis van deze rapportage een emissiefactor zal worden afgeleid voor eiwitarm voer.

Namens de auteurs,

Michel Smits  
(projectleider)



## Samenvatting

Het Productschap Vee en Vlees (PVV) en het ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie hebben het hier gerapporteerde onderzoek gefinancierd.

De effecten op de emissies uit praktijkstallen werden onderzocht van eiwitarm voer zonder en met gedeeltelijke vervanging van calciumcarbonaat door calciumchloride. Hiertoe werden op vier bedrijven emissiemetingen uitgevoerd. Het effect van een emissie arme voervariant werd binnen elk bedrijf vergeleken met een gangbaar voer als controle (case-control). Per bedrijf werden emissies gemeten in 4 afdelingen. Per bedrijf werd in 2 afdelingen een traditioneel voer verstrekt; in 2 andere afdelingen werd een emissie verlagend voer verstrekt. Dit emissie verlagende voer was per bedrijf steeds ofwel *eiwitarm* (ca. -28 g RE/kg voer) ofwel een combinatie van *eiwitarm en calciumchloride toevoeging* (ca. +6 g Chloride/kg voer). Op 2 bedrijven werd traditionele huisvesting toegepast; op de 2 andere bedrijven emissie arme huisvesting (schuine wand, ICV).

Verlaging van het eiwitgehalte in het voer gaf in dit onderzoek een reductie van de ammoniakemissie van ca. 14% per 10 gram per kilogram verlaging van het ruw eiwitgehalte in het voer. Dit emissie reducerende effect op de praktijkbedrijven was zelfs iets groter dan gemiddeld in eerdere experimentele onderzoeken (10 – 12% per 10 g/kg eiwitverlaging). De geuremissie bij het eiwitarme voer was 19% lager dan bij het controle voer. Er werd geen significant effect van het voer op de methaanemissie gevonden. Bij het emissiearme huisvestingssysteem (schuine putwanden en rioleringsysteem) was de methaanemissie 84% lager dan bij het traditionele huisvestingssysteem. Dit kan verklaard worden door de kortere verblijftijd van de mest en het geringere volume mest in het emissiearme huisvestingssysteem. De lachgasemissie was in het algemeen laag en tendeerde naar lagere waarden bij lagere eiwitniveaus in het voer.

Gedeeltelijke vervanging van calciumcarbonaat door calciumchloride had geen additioneel effect op de ammoniakemissie. Dit in tegenstelling tot eerdere experimentele onderzoeken.

Bij het eiwitarme voer was het N-gehalte in de urine 1 à 2 gram per liter lager dan bij het controlevoer. Bij het eiwitarme voer met calciumchloride was de pH in de urine gemiddeld 1,5 eenheden lager dan in het controlevoer. Waarschijnlijk heeft deze pH daling van de verse urine (te) weinig effect gehad op de pH van de mengmest. Dit kan veroorzaakt zijn door een langere opslagduur van de mengmest in dit onderzoek ten opzichte van voorgaande onderzoeken.

Uit additioneel onderzoek van enkele batches urine in verband met botmineralisatie bleek dat de calciumuitscheiding bij het voer met  $\text{CaCl}_2$  verhoogd was. Uit additioneel onderzoek van enkele batches botjes na de slacht bleek dat gehalten van as, calcium en fosfor in het bot licht verlaagd werden door het voer met  $\text{CaCl}_2$ . Om deze redenen is het geen aantrekkelijke optie om calciumcarbonaat in het voer gedeeltelijk te vervangen door calciumchloride.

Uit bedrijfseconomische berekeningen bleek dat eiwitarm voer een kosteneffectieve emissie reducerende maatregel is voor bedrijven die er in slagen het eiwitarme voer toe te passen zonder daling van de groei en voerconversie.

Een systematiek voor controle en handhaving van eiwitarm voer als emissiereducerende maatregel is uitgewerkt en kan vrij eenvoudig geïmplementeerd worden op bedrijven die mengvoeders afnemen van leveranciers die de samenstelling van het voer kunnen borgen via GMP of HACCP systematiek.





## Summary

The Dutch Product Board for Livestock and Meat (PVV) and the Dutch Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovations have financed this study.

The effects on the emissions from pig houses of a low protein diet with and without the partial replacement of calcium carbonate by calcium chloride were studied at 4 commercial pig farms. A case control study design was performed to compare the effect of a low emission diet with a control diet within each farm. At each farm, emissions were measured in 4 units with growing-finishing pigs. In two of these pig units the control diet was fed. In the other two units of each farm a low emission diet was fed. At each farm one low emission diet was fed: low protein with or low protein without calcium chloride. The same diet was fed during one year.

On two farms pigs were housed in a traditional housing system. On the other 2 farms the pigs were housed in a low emission housing system where the pit surface area was reduced by a sloping wall and a manure draining system.

The effect on ammonia emission of lowering the protein content of the feed was of the same magnitude as in earlier studies. Per 10 gram reduction of crude protein content, the ammonia emission decreased 14%. This effect was a little larger than in earlier experimental studies. Odour emission was decreased by 19% by the low protein diet compared with the control diet. Diet did not have an effect on methane emission. With the low emission housing methane emission was 84% lower than with the traditional housing. Nitrous oxide emission was generally low and tended to lower levels with the low protein diets. Partial replacement of calcium carbonate by calcium chloride did not have an additional effect on ammonia emission.

The N content in urine samples was 1-2 gram/l lower at the low protein diet than at the control diet. The pH in fresh urine was approx. 1.5 units lower for the low protein+CaCl<sub>2</sub> diet than for the control diet.

Probably the effect of this lowered urinary pH on the pH of the manure was too small to generate a significant effect on ammonia emission. This may be due to a longer duration of manure storage in this study compared with earlier experimental studies.

Bone mineralisation related parameters were studied in a few batches of urine. Calcium excretion via urine was found to increase in these batches when the diet with CaCl<sub>2</sub> was fed. Bone mineralisation was also studied in a few batches of bones after slaughter of the pigs. The ash- Ca- and P- concentrations appeared to be slightly decreased in the diet with CaCl<sub>2</sub>. The results with the low protein diet with CaCl<sub>2</sub> showed that partial replacement of calcium carbonate by calcium chloride is not an attractive option.

From the economic evaluation it was concluded that a low protein diet can be cost efficacious in pig farms that manage to apply this diet without reducing pig growth and without increasing feed conversion rate.

Implementation of low protein diets in practice can be checked and preserved easily on farms that take their feed from feeding industries that can guarantee their feed compositions by recognized GMP or HACCP methods.



# Inhoudsopgave

## Voorwoord

## Samenvatting

## Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
1.1	Achtergrond.....	1
1.2	Doel.....	1
<b>2</b>	<b>Materiaal en methoden</b> .....	<b>2</b>
2.1	Emissies van ammoniak geur en broeikasgassen.....	2
2.1.1	Proefopzet.....	2
2.1.2	Emissiemetingen.....	2
2.1.3	pH en N-gehalte in urinemonsters .....	4
2.2	Technische prestaties en economie .....	4
2.2.1	Technische prestaties .....	4
2.2.2	Economische evaluatie .....	5
2.3	Additionele waarnemingen botmineralisatie .....	5
2.3.1	Botkwaliteit na slacht .....	5
2.3.2	Aanvullende parameters in urinemonsters .....	5
2.4	Analyse gegevens .....	6
<b>3</b>	<b>Resultaten</b> .....	<b>7</b>
3.1	Leeswijzer .....	7
3.2	Gemiddelden van gemeten waarden .....	7
3.2.1	Voersamenstelling .....	7
3.2.2	Diergegevens tijdens de metingen .....	8
3.2.3	Klimaat en ventilatie tijdens de metingen .....	10
3.2.4	Emissies van ammoniak, geur en broeikasgassen .....	11
3.2.5	Stikstofgehalte en pH in urinemonsters .....	13
3.2.6	Hokbevuiling .....	14
3.2.7	Botmineralisatie .....	15
3.2.8	Technische prestaties .....	16
3.3	Overall statistische analyse .....	19
3.3.1	Emissies.....	19
3.3.2	Technische resultaten.....	21
3.3.3	Botmineralisatie .....	21
3.4	Economie .....	23
3.5	Controle en handhaving .....	25
<b>4</b>	<b>Discussie</b> .....	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b> .....	<b>29</b>

## Bijlagen



## 1 Inleiding

Het Productschap Vee en Vlees (PVV) en het ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie hebben het hier gerapporteerde onderzoek gefinancierd.

### 1.1 Achtergrond

Uit eerder onderzoek is gebleken dat het eiwitgehalte in het voer een belangrijk effect heeft op de ammoniakemissie van vleesvarkens (Aarnink & Verstegen, 2007; Bakker *et al.*, 2004; Canh *et al.*, 1998b, Le *et al.*, 2004). Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat de ammoniakemissie met ca. 10 – 12,5% afneemt voor elke 1% lager ruw eiwitgehalte in het voer (Canh *et al.*, 1998b; Le *et al.*, 2004). Verlaging van het ruw eiwitgehalte met 2,5% (van 16 naar 13,5%) zal naar verwachting de ammoniakemissie met 25 - 30% reduceren. Vervanging van 3 g Calcium in de vorm van  $\text{CaCO}_3$  door 3 g Calcium in de vorm van  $\text{CaCl}_2$  of  $\text{CaSO}_4$  heeft een verwachte emissiereductie van 24% door pH-verlaging van de urine (Canh *et al.*, 1998a). Door een combinatie van deze maatregelen is het verwachte effect op de ammoniakreductie 48%. Deze combinatie van maatregelen kan voor bestaande bedrijven voldoende zijn om de ammoniakemissie bij vleesvarkens bij een referentiewaarde van 2,5 kg ammoniakemissie per dierplaats per jaar onder de grenswaarde van 1,4 kg te laten zakken. De overheid wil dit vanaf 2013 gaan toestaan voor bedrijven die van de stoppersregeling bij het actieplan ammoniak gebruik maken. Met voermaatregelen kan een extra emissiereductie gerealiseerd worden ten opzichte van een emissiearm huisvestingsstelsel. Dit kan aanvullend op "BBT+" stalmaatregelen (BBT zijn best beschikbare technieken) relevant zijn om bij gebiedsgericht beleid een verdere daling van de N-depositie te bereiken.

Uit onderzoek van Van der Peet-Schwering *et al.* (1996) bleek dat het effect van voedingsmaatregelen gedeeltelijk teniet kan worden gedaan als gevolg van hokbevuiling. In de huidige stallen zijn echter al wel verschillende maatregelen genomen om hokbevuiling tegen te gaan.

Naast de ammoniakemissie kan mogelijk ook de geuremissie verlaagd worden door voermaatregelen. Uit onderzoek van Le (2006) bleek dat de geuremissie belangrijk kon worden beperkt wanneer het eiwitgehalte werd gereduceerd. Bij een vergelijking tussen voeders met 18% en 12% ruw eiwit in het voer, was de geuremissie bij het lage eiwitgehalte van het voer 80% lager. Wat het effect is van  $\text{CaCl}_2$  of  $\text{CaSO}_4$  op de geuremissie is niet bekend.

### 1.2 Doel

De doelstelling van dit onderzoek was het bepalen van de procentuele reductie van ammoniak wanneer (A) het eiwitgehalte in het voer wordt verlaagd met ca. 25 g/kg en (B) wanneer dit verlaagde eiwitgehalte gecombineerd wordt met gedeeltelijke vervanging van  $\text{CaCO}_3$  in het voer door  $\text{CaCl}_2$  zodat de pH van de urine en mengmest worden verlaagd. Naast het effect op de ammoniakemissie, zijn tevens de effecten op de emissies van geur en broeikasgassen vastgesteld. Verder is op basis van de resultaten een technische en economische evaluatie uitgevoerd.

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Emissies van ammoniak geur en broeikasgassen

#### 2.1.1 Proefopzet

Het proefscha is samengevat in tabel 1. De proef werd uitgevoerd bij 2 huisvestingssystemen en 2 emissiearme voerbehandelingen. Het effect van een emissie arme voervariant werd binnen elk bedrijf bepaald door vergelijking met een gangbaar voer als controle (case-control). Er werden metingen uitgevoerd op 4 bedrijven; per bedrijf in 4 afdelingen. Op 2 bedrijven werd traditionele huisvesting toegepast; op de 2 andere bedrijven emissie arme huisvesting (schuine wand, ICV). Per bedrijf werd in 2 afdelingen een gangbaar voer verstrekt; in 2 andere afdelingen werd een emissie verlagend voer verstrekt. Dit emissie verlagende voer was per bedrijf steeds ofwel *eiwitarm* ofwel een combinatie van *eiwitarm en calciumchloride* (een urineverzurend zout). Vanwege de beperkte beschikbaarheid van voeropslagsilo's werd per bedrijf met één emissieverlagend voer gewerkt en niet met twee. Elke voerbehandeling werd onderzocht op 1 bedrijf met een traditionele stal en op 1 bedrijf met een emissie-arme stal.

Het effect van voermaatregelen werd onderzocht in 2 verschillende staltypen om de hypothese te toetsen dat het effect van de voermaatregel niet afhankelijk is van het staltype. De voermaatregelen werden in de volgende staltypen onderzocht:

1. Gedeeltelijk roostervloer hok (emissiefactor: 2.5 – 3,5 kg ammoniak per varken per jaar; Rav-nummer D.3.100.1/2).
2. Optimaal hok met betonnen roostervloer en hellende plaat in de mestkelder met een maximaal emitterend oppervlak van 0,18 m<sup>2</sup> – 0,27 m<sup>2</sup> per varken (emissiefactor: 1.2 – 1,5 kg ammoniak per varken per jaar; Rav-nummer D.3.2.7.2.1/2).

**Tabel 1** Proefscha

Bedrijf	Huisvestingssysteem	'Control'	'C A S E'	
		Referentievoer	Lager RE	Lager RE & calcium chloride
1	Emissie-arm (1,2 – 1,5 kg NH <sub>3</sub> /jaar)	X	X	
2	Emissie-arm (1,2 – 1,5 kg NH <sub>3</sub> /jaar)	X		X
3	Traditioneel (2,5 -3,5 kg NH <sub>3</sub> /jaar)	X	X	
4	Traditioneel (2,5 -3,5 kg NH <sub>3</sub> /jaar)	X		X

De afdelingen op een bedrijf werden zoveel mogelijk paarsgewijs opgelegd, waarbij de ene afdeling voer kreeg met het proefvoer en de andere afdeling het referentievoer. Als het niet mogelijk was om 2 afdelingen met gelijke opleeftijden te realiseren, werd er naar gestreefd om het verschil in leeftijd tussen de afdeling met het proefvoer en de afdeling met het referentievoer zo klein mogelijk te houden.

Op alle bedrijven kregen de dieren droogvoer via een brijbak. Details over de stallen waar de metingen werden uitgevoerd zijn beschreven in bijlage 1.

#### 2.1.2 Emissiemetingen

Het meetplan werd ingevuld conform het nieuwe meetprotocol (Ogink *et al.*, 2011). Per bedrijf werden 6 meetdagen verspreid over de seizoenen gepland. Tijdens de meetdagen voor het bepalen van de ammoniakemissie werden tevens luchtmonsters genomen voor het bepalen van de geuremissie (conform het geurmeetprotocol steeds van 10.00 tot 12.00 uur) en de broeikasgasemissies (steeds een etmaal).

#### Ventilatie

Het ventilatiedebiet (m<sup>3</sup>/uur) werd bepaald met behulp van de CO<sub>2</sub>-massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie van de in- en uitgaande stallucht (respectievelijk

$[CO_2]_{\text{stal}}$  en  $[CO_2]_{\text{buiten}}$ ) gedurende 24 uur gemeten en de  $CO_2$ -productie van de dieren ( $m^3/\text{uur}$  per dier) in de stal berekend aan de hand van CIGR rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen *et al.*, 2008). Volgens deze rekenregels wordt de  $CO_2$ -productie voor vleesvarkens bepaald op basis van het gemiddelde gewicht (kg) en de groei van de dieren (g/dag). Door de  $CO_2$ -productie per dier te vermenigvuldigen met het aantal aanwezige dieren (n) in de stal kan de totale  $CO_2$ -productie worden berekend. Het ventilatie-debiet V ( $m^3/\text{uur}$ ) wordt dan bepaald op basis van:

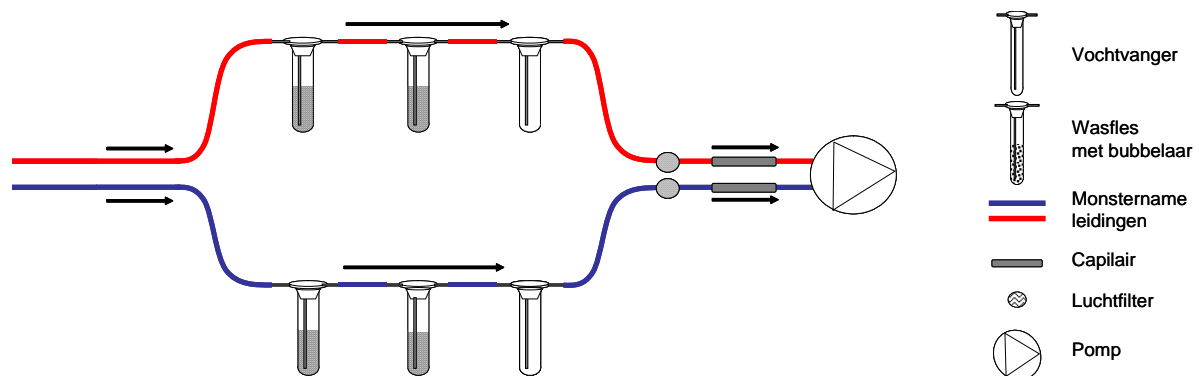
$$V = \frac{CO_2 - \text{productie}}{[CO_2]_{\text{stal}} - [CO_2]_{\text{buiten}}}$$

### Ammoniakemissie

De ammoniakconcentratie werd bepaald via de nat-chemische methode (Wintjes, 1993).

Bij de nat-chemische meetmethode werd de lucht via een monsternamleiding met een constante luchtstroom ( $\sim 1,0$  l/min) aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair die een luchtstroom had van ca. 1,0 l/min. Alle lucht werd door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml salpeterzuur) geleid, waarbij de  $NH_3$  werd opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag werd een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen werd de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid. Zie figuur voor een schematische weergave van de meetopstelling voor ammoniak. De molariteit van de zure oplossing in de wasflessen is afhankelijk van het aanbod van  $NH_3$  dat moet worden gebonden; voor deze stallen was deze 0,05 M. Na de bemonsteringstijd werd de concentratie gebonden  $NH_3$  spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het  $NH_4^+$  gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de  $NH_3$ -concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald.

De ammoniakemissie is vervolgens berekend door de ammoniakconcentratie van de ingaande lucht af te trekken van de ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht en dit getal te vermenigvuldigen met het ventilatie-debiet.



**Figuur 1** Meetopstelling nat-chemische methode voor ammoniakemissiemetingen

### Geur

Tijdens de meetdagen voor het bepalen van de ammoniakemissie werden tevens monsters genomen voor het bepalen van de geuremissie. Geurmonsters werden in overeenstemming met het standaard meetprotocol tussen 10:00 – 12:00 genomen.

Geurconcentraties werden alleen bepaald in de uitgaande stallucht (1 meetpunt per afdeling). Er stonden geen stallen in de directe omgeving van de te bemeten stallen in dit onderzoek. De ervaring leert dat de achtergrondconcentratie van geur dan verwaarloosbaar is. Geurmonsters werden genomen tussen 10:00 en 12:00 uur. De bemonstering werd uitgevoerd volgens de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002). Een 40 liter Nalophan geurmonsterzak werd driemaal gespoeld met geurvrije lucht en in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een pomp

(Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) via een teflon slang te zuigen (0,4 l/min), ontstaat in het vat onderdruk en wordt door een stoffilter (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2 µm, Savillex® Corp., Minnetonka, VS) stallucht aangezogen in de zak. Het monster werd direct na bemonstering naar het geurlaboratorium vervoerd om binnen 30 uur te worden geanalyseerd. De geuranalyses werden uitgevoerd volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Het geurlaboratorium is onder nummer L400 geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses.

#### *Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid (RV)*

Naast concentratie- en debietmetingen werden tevens de temperatuur en RV tijdens de meetdagen gemeten m.b.v. een Rotronic gecombineerde sensor. Temperatuur (°C) en RV (%) in de stal (bij de luchtinlaat) en buiten de stal (bij de luchtinlaat) werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS), met een nauwkeurigheid van respectievelijk  $\pm 1,0$  °C en  $\pm 2\%$ , en de data werden opgeslagen in een datalogsysteem (typen: CR10, CR10X, CR23 en CR23X, Campbell Scientific Inc., Logan, VS).

#### *Broeikasgassen*

Tijdens de meetdagen voor het bepalen van de ammoniakemissie werden tevens monsters genomen voor het bepalen van concentraties van de broeikasgassen (steeds een etmaal) kooldioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). De bepaling van de CH<sub>4</sub>- en N<sub>2</sub>O-concentraties in de ingaande buitenlucht (achtergrond; één meetpunt) en in de uitgaande stallucht (twee meetpunten) werd op dezelfde wijze gedaan als voor een geurmonster (zie de longmethode zoals hierboven beschreven). De monsterzakken werden gedurende 24 uur continu gevuld met een vaste luchtstroom van 0,02 l/min. Op deze wijze werd een 24-uurs monster verkregen. Het gehalte aan broeikasgassen in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>), Haysep Q (N<sub>2</sub>O); detector: CH<sub>4</sub>: FID, N<sub>2</sub>O: ECD, CO<sub>2</sub>: HWD).

#### *Hokbevuiling*

De hokbevuiling werd beoordeeld door per hok het percentage van het dichte vloeroppervlak dat nat (verse urine) of bevuild (opgedroogde mest en /of urine) was te schatten. Door hokbevuiling kan de emitterende oppervlakte toenemen. Dit kan de emissieresultaten beïnvloeden.

### *2.1.3 pH en N-gehalte in urinemonsters*

Kort voor of kort na iedere meetsessie werd bij 4 dieren per afdeling steekproefsgewijs een urinemonster genomen. Dit om naast het uiteindelijke effect van het voer op de ammoniakemissie ook het effect van het voer op de pH in de urine en het stikstofgehalte in de urine vast te kunnen stellen. De monsters werden genomen van varkens die op dat moment spontaan urineerden. Een deel van deze urine werd opgevangen in een steelpannetje. In het verse monster werd direct de pH bepaald. Daarna werd de urine opgeslagen bij -20°C. In het laboratorium werd het N-gehalte bepaald in een mengmonster van de 4 urinemonsters per afdeling.

## **2.2 Technische prestaties en economie**

### *2.2.1 Technische prestaties*

Op de bedrijven en in het slachthuis zijn zoötechnische gegevens en slachtgegevens verzameld. Daaruit zijn de volgende kengetallen (per bedrijf, per behandeling) berekend:

- Opleggewicht (kg/dier; geschat)
- Groei (g/dag)
- Voeropname (kg/dag)
- Voerconversie (kg/kg)
- EW conversie (EW/kg groei)
- Uitval (%)



Slachtresultaten:

- Aflevergewicht (kg)
- Geslacht gewicht (kg)
- Vlees percentage (%)

### 2.2.2 Economische evaluatie

De meerkosten van de emissie arme voeders zijn ingeschat en de meerkosten van emissie arme huisvesting zijn daarnaast gekwantificeerd.

De kosten van de afzonderlijke en gecombineerde maatregelen zijn vervolgens berekend alsook de kosten per kilogram gereduceerde ammoniakemissie.

## 2.3 Additionele waarnemingen botmineralisatie

### 2.3.1 Botkwaliteit na slacht

Bij het urineverzurende voer werd na enkele meetperioden geconstateerd dat er erg lage pH's in de urinemonsters voorkwamen; bij individuele varkens was de pH soms lager dan 5. Bij dergelijke lage pH's is niet uit te sluiten dat het zuur base evenwicht in het dier substantieel naar de zure kant schuift. Mogelijk heeft dit een nadelige impact op de botmineralisatie en daarmee de botkwaliteit in het dier. Dat zou een ongewenst neveneffect zijn en tot zwakkere beenderen en mogelijk beengebreeken kunnen leiden. Daarom zijn van één bedrijf met voer 3 aan het einde van ronde 2 en ronde 3 additioneel botjes verzameld van de dieren in het slachthuis. In beide rondes werd bij 10 varkens die voer 3 hadden gehad en bij 10 varkens die voer 1 hadden gehad de mineralengehalten in de botjes bepaald. De derde en vierde metatarsus werden uitgerepareerd na invriezen van de voorpoot. De voorpoten werden bij het slachten verzameld. Na het slachten werd bij de dieren op het slachthuis de linker voorvoet bij de hak afgesneden en in een plastic zak gedaan en voorzien van de diercode en ingevroren op het laboratorium van CCL.

Om de mineralengehalten in de diafyzen van het bot te bepalen zijn de volgende bewerkingen achtereenvolgens uitgevoerd:

1. het bot is gedroogd; resultaat: hoeveelheid droge stof in oorspronkelijk monster (bot)
2. het gedroogde bot is ontvet; resultaat: hoeveelheid vet in het gedroogde monster (bot)
3. het ontvette bot is verast; resultaat: ruw as in gedroogde en ontvette monster
4. het veraste bot is ontsloten; resultaten: fosfor en calcium in asrest van het gedroogde en ontvette monster.

### 2.3.2 Aanvullende parameters in urinemonsters

Vanwege de lage urine pH en de mogelijke impact op de botmineralisatie werden tijdens enkele meetperioden aanvullend extra bepalingen gedaan in urinemonsters zodat ook tussentijds (aan het levende dier) enige informatie over de calciumhuishouding vastgesteld kon worden. De volgende mineralengehalten werden in de urine vastgesteld: calcium, fosfor, natrium, kalium. Tevens werd het chloridegehalte bepaald.

Een lagere pH kan leiden tot een geringere opname van calcium in het maagdarmlkanaal (verteerbaarheid) of tot een geringere vastlegging van het geabsorbeerde calcium in het dier door een verschuiving in het zuur-base evenwicht, waardoor het Calcium meer in opgeloste vorm blijft en vastgelegd Calcium onttrokken kan worden aan het bot (botontkalking). Een hoger Calciumgehalte in de urine kan een geringere vastlegging in het dier weerspiegelen. De concentraties van de andere mineralen kunnen informatie geven over de onderlinge verhoudingen waarin die worden uitgescheiden. Dit kan bestudeerd worden in samenhang met de gevoerde hoeveelheden van de mineralen.

## 2.4 Analyse gegevens

Gemiddelden per voerbehandeling werden berekend van de diverse variabelen (ammoniakemissies, geuremissies, broeikasgasemissies, gehalten in urine en urine pH, botparameters), alsook van de proefkarakteristieken dieraantallen, leeftijden, staltemperatuur en ventilatieniveau. Ook werden standaarddeviaties van de overallgemiddelden berekend.

Het effect van de voerbehandeling en het huisvestingssysteem en een eventuele interactie tussen deze factoren werd bepaald in statistische analyses met de procedure REML (Restricted Maximum Likelihood) van Genstat (Genstat Committee, 2011). Het diergewicht op de meetdag werd als covariabele opgenomen om te corrigeren voor een eventueel effect van verschillen in diergewicht binnen of tussen meetlocaties. De staltemperatuur werd als covariabele opgenomen om een eventueel effect van de staltemperatuur op de emissie te kunnen kwantificeren.

$$Y_{ijkl} = \text{Constante} + H_j * V_k + b_g * (G_{ijkl}) + b_T * (T_{stal}) + e_{ijkl} \quad (1)$$

Waarbij $Y_{ijkl}$ =	de natuurlijke logaritme van de ammoniakemissie (mg/h) in periode i in huisvestingssysteem j bij voer k in afdeling l;
$H_j$ =	huisvestingssysteem j (traditioneel of emissiearm met schuinewand);
$V_k$ =	voerbehandeling k (1=controle; 2=eiwitarm; 3=eiwitarm+CaCl <sub>2</sub> );
$G_{ijkl}$ =	diergewicht in periode i in huisvestingssysteem j bij voer k in afdeling l;
$b_g$ =	regressiecoëfficiënt voor het effect van diergewicht;
$b_T$ =	regressiecoëfficiënt voor het effect van staltemperatuur;
$T_{stal}$ =	staltemperatuur;
$e_{ijkl}$ =	restvariatie met als kleinste random component de stalafdeling

Op analoge wijze werden met model 1 ook de emissies van geur, broeikasgassen, de urineparameters en de botparameters geanalyseerd. Niet significante termen werden in de definitieve analyses verwijderd.

Op basis van model 1 werd een schatting van de emissieniveaus per dierplaats per jaar gemaakt bij de verschillende voerbehandelingen in combinatie met de beide huisvestingssystemen. Om de emissies per dierplaats per jaar te berekenen, werden de emissies van ammoniak, lachgas en methaan gecorrigeerd voor een leegstand van 3%.

Om rekening te kunnen houden met variaties in ruweiwitgehalten en de elektrolytenbalans bij voer 1, 2 en 3 en de verschillen tussen deze voeders (variaties die zowel binnen als tussen bedrijven kunnen optreden) werd een tweede statistisch model toegepast waarbij een lineair effect van het eiwitgehalte (RE, uitgedrukt in g/kg voer) en de elektrolytenbalans (dEB uitgedrukt in mEq/kg ds voer) was opgenomen. Dit als alternatief voor model 1 waar de voerbehandelingen 1, 2 en 3 als vaste factor zijn opgenomen.

$$Y_{ijkl} = \text{Constante} + b_1 * RE_{ijkl} + b_2 * dEB_{ijkl} + H_j + b_3 * (G_{ijklm} - 60) + e_{ijkl} \quad (2)$$

Variabelen die in model 1 en in model 2 werden opgenomen, worden onder model 1 toegelicht.

Met model 2 kan het effect op de emissie per gram (of bijvoorbeeld per 10 gram) verandering van het Ruw eiwitgehalte en per milli-equivalent (of bijvoorbeeld per 100 mEq) verandering van de dEB gekwantificeerd worden.

### 3 Resultaten

#### 3.1 Leeswijzer

Hierna worden in paragraaf 3.2 eerst de 'ruwe' gemiddelden per, locatie en behandeling beschreven van de voersamenstelling (3.2.1), de diergegevens (3.2.2), het klimaat (3.2.3), de emissies (3.2.4), de gehalten in urinemonsters (3.2.5), de hokbevuiling (3.2.6), de botparameters (3.2.7) en de technische resultaten (3.2.8).

Daarna volgen in paragraaf 3.3 de resultaten van toetsing van behandelingseffecten op basis van statistische analyse. Op basis van deze statistische analyse wordt beschreven of de behandelingseffecten significant zijn en wordt per dierplaats per jaar gekwantificeerd hoe groot de emissies zijn alsook hoe groot de procentuele effecten op de emissies zijn van verlaging van het eiwitgehalte in het voer (voer 2 ten opzichte van voer 1) en van 'calciumchloride en een verlaagd eiwitgehalte in het voer' (voer 3 ten opzichte van voer 1). Ook het huisvestingseffect (emissiearme ten opzichte van traditionele stal) in procenten wordt zo gekwantificeerd. In paragraaf 3.4 volgt een economische evaluatie. In paragraaf 3.5 worden ten slotte de controle en handhaving van voermaatregelen beschreven.

#### 3.2 Gemiddelden van gemeten waarden

##### 3.2.1 Voersamenstelling

De gerealiseerde samenstelling van de startvoerders en de groei- en afmestvoerders is gemiddeld per bedrijf en voerbehandeling weergegeven in tabel 2 en 3. Voer 1 is steeds het referentieniveau; voer 2 heeft een lager ruweiwitgehalte dan voer 1 en voer 3 heeft ook een lager ruweiwitgehalte dan voer 1; bovendien is in voer 3 calciumcarbonaat deels vervangen door calciumchloride, zodat het chloridegehalte hoger is.

**Tabel 2** De samenstelling van de startvoerders gemiddeld per bedrijf en per voerbehandeling

Bedrijf	1	1	3	3	2	2	4	4
Huisvesting <sup>1)</sup>	SchW	SchW	Trad	Trad	SchW	SchW	Trad	Trad
Voer	1	2	1	2	1	3	1	3
EW 2005, EW <sup>2)/kg</sup>	110	110	<u>125</u>	110	<u>125</u>	114	114	114
RE <sup>3)</sup> , g/kg	166	130	178	130	177	133	167	133
VNSP CVB <sup>4)</sup> , g/kg	103	96	95	96	95	86	101	86
Cl, g/kg	3	5	4	5	4	10	4	10
dEb <sup>5)</sup> , mEq/kg DS	158	97	161	97	156	-93	161	-93

Muv<sup>6)</sup> 1<sup>e</sup> 14  
d

1) SchW = emissiearme huisvesting via schuine wand in mestkelder; Trad = traditionele huisvesting.

2) EW = energiewaarde voer.

3) RE = ruweiwitgehalte in voer.

4) VNSP = verteerbare niet zetmeel koolhydraten berekend met CVB-tabel.

5) De elektrolytenbalans van het voer (dEB) werd berekend op basis van de K-, Na-, Cl- en S-gehalten in het voer. Een negatieve dEB gaat gepaard met zure urine.

6) Muv: Op bedrijf 2 werd in de afdelingen met het controlevoer gedurende de 1<sup>e</sup> 14 dagen een ander voer verstrekt (zie bijlage 2).

Op de bedrijven 2 en 3 werd als startvoer in de controleafdelingen een geconcentreerder voer (zogenaamde airline voer) verstrekt; zowel het energiegehalte (EW) als het RE gehalte was daardoor in de startfase extra hoog ten opzichte van de andere voeders. Het was niet mogelijk om de andere voerbehandelingen in een geconcentreerdere vorm te maken zodat het energiegehalte hier afwijkt. Aangezien dit controlevoer als gangbare praktijk op deze bedrijven werd toegepast, werd dit ook gedurende het onderzoek gecontinueerd.

Tussen controlevoer en overige voeders verschilde het eiwitgehalte in de startfase 34 tot 48 g/kg. Bij voer 3 werd calciumcarbonaat deels vervangen door calciumchloride. Daardoor was het chloorgehalte ca. 6 g/kg hoger dan bij de andere voeders en had de elektrolytenbalans een negatieve waarde. Deze negatieve waarde geeft aan dat er meer negatieve (Cl en S) dan positieve ionen (K en Na) zijn.

Het startvoer werd verstrekt vanaf de oplegdatum tot een gewicht van ca. 45 kg. Daarna werd het groei-/afmestvoer verstrekt. Op bedrijf 1 en 2 werd gedurende de laatste 2 weken voor de slacht een apart afmestvoer verstrekt (zie bijlage 2).

**Tabel 3** De samenstelling van de groei-/afmestvoeders gemiddeld per bedrijf en voerbehandeling.

Bedrijf	1	1	3	3	2	2	4	4
Huisvesting <sup>1)</sup>	SchW	SchW	Trad	Trad	SchW	SchW	Trad	Trad
Voer	1	2	1	2	1	3	1	3
EW <sup>2)</sup> /kg	111	111	111	111	111	110	110	110
RE <sup>3)</sup> , g/kg	152	127	149	127	158	123	159	130
VNSP CVB <sup>4)</sup> , g/kg	117	101	99	101	117	109	109	109
Cl, g/kg	2	4	2	4	2	9	4	9
dEb <sup>5)</sup> , mEq/kgDS	153	103	154	103	160	-64	157	-73
Muv <sup>6)</sup>	ltste 14d				ltste 14d			

1) SchW = emissiearme huisvesting via schuine wand in mestkelder; Trad = traditionele huisvesting.

2) EW = energiewaarde voer.

3) RE = ruweiwitgehalte in voer.

4) VNSP = verteerbare niet zetmeel koolhydraten berekend met CVB-tabel.

5) De elektrolytenbalans van het voer (dEB) werd berekend op basis van de K-, Na-, Cl- en S-gehalten in het voer. Een negatieve dEB gaat gepaard met een zure urine.

6) Muv: Op bedrijf 1 en 2 werd in de afdelingen met het controlevoer gedurende de laatste 14 dagen een ander voer verstrekt (zie bijlage 3).

In de afmestfase werd op alle bedrijven bij alle voerbehandelingen een nagenoeg identieke EW in het voer verstrekt. Het RE gehalte in het controlevoer varieerde van 149 tot 159 g/kg. Het RE gehalte in de voeders 2 en 3 was 22 tot 29 g/kg lager dan in het controlevoer. Verschillen in VNSP gehalte werden geminimaliseerd door hier rekening mee te houden bij de optimalisering van de voeders (grondstoffenkeuze). Het chloorgehalte was bij voer 3 ca. 6 g/kg hoger dan bij de andere voeders en de elektrolytenbalans bij voer 3 had door gedeeltelijke vervanging van calciumcarbonaat door calciumchloride een negatieve waarde.

### 3.2.2 Diergegevens tijdens de metingen

Het aantal aanwezige dieren per afdeling was tijdens de meeste emissiemetingen per bedrijf nagenoeg constant. Alleen op bedrijf 4 werd na de 1<sup>e</sup> meting de oppervlakte per dier vergroot van 0,8 naar 1,0 m<sup>2</sup>/dier. Daardoor wijkt het aantal dieren hier in de 1<sup>e</sup> periode af van daarna.

**Tabel 4** Per locatie en per voerbehandeling, het aantal aanwezige dieren per afdeling tijdens de meetperioden

Bedrijf	1		2		3		4	
	1	2	1	3	1	2	1	3
Voer								
Periode								
1	144	142	144	143	90	87	<u>60</u>	<u>60</u>
2	145	144	143	142	90	93	48	48
3	141	143	143	141	89	92	48	48
4	143	144	142	143	90	89	48	48
5	143	144	141	143	88	89	48	48
6	143	144			86	88	48	48

Tijdens de meeste metingen was het verschil in leeftijd en gewicht tussen de afdelingen met verschillende voeders gering. In enkele gevallen was er echter wel een substantieel verschil (zie de onderstreepte waarden in de tabellen 5 en 6). Verschillen in emissies kunnen mede daardoor veroorzaakt worden. In de statistische analyse werd daarom rekening gehouden met een mogelijk effect van het diergewicht op de emissie.

**Tabel 5** Per locatie en per behandeling, de leeftijd van de varkens tijdens de meetperioden (dag in ronde, vanaf oplegdatum)

Bedrijf	1		2		3		4	
	1	2	1	3	1	2	1	3
Voer								
Periode								
1	43	40	26	22	79	67	21	28
2	23	23	61	57	<u>35</u>	<u>13</u>	20	27
3	65	65	89	85	<u>82</u>	<u>60</u>	61	68
4	47	40	<u>50</u>	<u>33</u>	14	14	6	6
5	75	69	<u>94</u>	<u>77</u>	49	49	48	48
6	95	89			82	82	83	83

**Tabel 6** Per locatie en per behandeling, het geschatte gewicht van de varkens tijdens de meetperioden (kg per dier)

Bedrijf	1		2		3		4	
	1	2	1	3	1	2	1	3
Voer								
Periode								
1	48	44	52	47	93	82	39	45
2	40	39	73	71	<u>52</u>	<u>28</u>	45	48
3	73	72	95	94	<u>92</u>	<u>66</u>	60	65
4	67	69	<u>68</u>	<u>51</u>	34	34	32	29
5	92	97	<u>100</u>	<u>87</u>	63	63	54	51
6	106	111			90	89	113	108

3.2.3 *Klimaat en ventilatie tijdens de metingen*

De gerealiseerde gemiddelde staltemperatuur en buitentemperatuur tijdens de meetperioden is weergegeven in tabel 7 en tabel 8. Er werd één geplande meting niet gestart omdat de varkenshouder vreesde voor nadelige effecten voor de dieren vanwege hittestress. Op dit bedrijf zijn daarom slechts 5 emissiemetingen uitgevoerd.

**Tabel 7** Per meetperiode en per meetlocatie, de gerealiseerde gemiddelde staltemperatuur (°C)

Bedrijf	1		2		3		4	
Voer	1	2	1	3	1	2	1	3
Periode								
1	26.8	25.9	27.6	27.5	22.6	23.4	26.3	26.3
2	27.4	26.8	24.8	25.0	25.2	26.6	25.0	24.9
3	25.9	25.2	23.0	23.2	24.1	24.3	23.3	23.4
4	26.4	25.2	23.9	24.3	22.8	22.7	20.2	23.5
5	26.2	24.9	25.6	26.2	26.8	25.7	22.0	22.5
6	26.2	24.6			20.9	20.9	22.2	22.1

**Tabel 8** Per meetperiode en per meetlocatie, de gemiddelde buitentemperatuur (°C).

Bedrijf	1		2		3		4	
Voer	1	2	1	3	1	2	1	3
Periode								
1	12.1	12.1	17.4	17.4	11.1	11.1	16.9	16.9
2	15.0	15.0	6.0	6.0	17.9	17.9	16.7	16.7
3	9.3	9.3	-2.4	-2.4	16.4	16.4	14.7	14.7
4	5.7	5.7	3.7	3.7	-1.0	-1.0	-0.4	-0.4
5	7.3	7.3	16.7	16.7	1.1	1.1	7.9	7.9
6	6.8	6.8			3.5	3.5	11.1	11.1

Gegevens ontleend aan KNMI weerstation Eindhoven.

De gerealiseerde gemiddelde ventilatie is weergegeven in tabel 9. Tijdens de meeste emissiemetingen waren er geen grote verschillen in ventilatie tussen de afdelingen met de verschillende voerbehandelingen. Alleen in de 2<sup>e</sup> meetperiode op bedrijf 3 was er wel een groot verschil in ventilatieniveau. Dit komt door een verschil in gewicht en leeftijd.

**Tabel 9** Per meetperiode en per meetlocatie, de gemiddelde ventilatie op basis van de CO<sub>2</sub>-balans (per dierplaats, m<sup>3</sup>/h)

Bedrijf	1		2		3		4	
Voer	1	2	1	3	1	2	1	3
Periode								
1	24	22	24	24	32	34	28	31
2	21	19	19	20	<u>87</u>	<u>29</u>	34	36
3	23	22	20	18	52	51	36	41
4	19	16	16	14	9	9	11	13
5	22	20	41	37	18	18	21	23
6	32	31			22	23	32	35
Gem	23	22	24	23	37	27	27	30
SEM	1.7	1.7	3.0	2.8	7.9	4.2	2.7	2.9

### 3.2.4 Emissies van ammoniak, geur en broeikasgassen

#### 3.2.4.1 Ammoniakemissie

De gemiddelde ammoniakemissie per meetperiode, locatie en voerbehandeling is weergegeven in tabel 10.

Tussen meetperioden waren er aanzienlijke verschillen in ammoniakemissie. In enkele gevallen was de emissie bij het emissiearme voer hoger dan die bij het controlevoer. De gemiddelde emissiereductie was het hoogste op locatie 3 bij voer 2 t.o.v. voer 1 en het laagste op locatie 1 bij eveneens voer 2 ten opzichte van het controlevoer (respectievelijk 42 en 14%). De gemiddelde emissiereductie bij voer 3 ten opzichte van het controlevoer verschilde niet veel tussen de locaties 2 en 4 (gemiddeld respectievelijk 31 en 29% emissiereductie).

**Tabel 10** Per meetperiode en per meetlocatie, de gemiddelde ammoniakemissie (per dierplaats, mg NH<sub>3</sub>/h)

Bedrijf	1		2		3		4	
	1	2	1	3	1	2	1	3
Voer								
Periode								
1	157	111	238	190	351	174	189	126
2	230	109	350	236	456	129	358	263
3	316	278	375	244	380	165	400	283
4	168	197	190	126	248	136	268	192
5	193	266	317	218	269	222	285	174
6	320	234			527	461	459	354
Gemiddeld	231	199	294	203	372	215	327	232
Sem	22	23	27	20	31	35	31	24
Emissiereductie %		14		31		42		29

Een emissiefactor van 2,5 kg ammoniak per dierplaats per jaar kom bij 3% leegstand overeen met 294 mg ammoniak/uur.

#### 3.2.4.2 Geuremissie

De gemiddelde geuremissie per meetperiode, locatie en voerbehandeling is weergegeven in tabel 11. Geuremissiemetingen laten in het algemeen grote variaties binnen en tussen stallen zien. Ook in dit onderzoek werden grote variaties gevonden. Tussen meetperioden waren er aanzienlijke verschillen in geuremissie. In diverse gevallen was de geuremissie bij het emissiearme voer hoger dan die bij het controlevoer. De gemiddelde emissiereductie was het hoogste op locatie 1 bij voer 2 t.o.v. voer 1 en het laagste op locatie 4 bij voer 3 ten opzichte van het controlevoer (gemiddeld respectievelijk 45% en -9%).

**Tabel 11** Per meetperiode en per meetlocatie, de gemiddelde geuremissie (per dierplaats,  $OU_e/s$ ), voor de afdelingen met voer 1, 2 of 3

Bedrijf	1		2		3		4	
	1	2	1	3	1	2	1	3
Periode								
1	35	39	22	23	36	26	29	26
2	56	27	21	19	71	33	28	39
3	38	27	27	15	28	39	23	23
4	31	26	12	10	29	38	8	11
5	32	23	26	32	23	17	7	7
6	102	20			29	18	14	13
Gem	49	27	22	20	36	28	18	20
SEM	12.8	4.2	2.3	2.6	5.0	2.9	2.8	3.3
Emissiereductie %		45		8		21		-9

Volgens de Rav-lijst is de geuremissie van traditionele stallen 23  $OU_e/s$  en die van emissie arme stallen 16  $OU_e/s$ . (De geuremissie wordt voor de RAV-lijst niet gecorrigeerd voor leegstand.)

### 3.2.4.3 Emissie van broeikasgassen

De methaanemissie verschilde niet duidelijk tussen de rantsoenen. Wel was de methaanemissie op de bedrijven met traditionele huisvesting substantieel hoger dan die op de bedrijven met emissiearme huisvesting. Bij de emissiearme huisvesting was het volume mest en de verblijfstijd in de stal kleiner. Ook was de hoeveelheid mest die achterbleef na het legen van de mestput kleiner dan bij de traditionele stallen. Dit werkt een lagere methaanemissie in de hand.

**Tabel 12** Per meetperiode en per meetlocatie, de gemiddelde methaanemissie (per dierplaats, g  $CH_4/dag$ )

Bedrijf	1		2		3		4	
	1	2	1	3	1	2	1	3
Periode								
1	10.7	10.2	6.6	4.8	50	30	50	49
2	5.1	5.8	7.0	7.1	15	21	86	74
3	6.5	7.2	6.9	6.9	25	31	73	75
4	6.4	6.5	5.3	4.8	11	15	59	57
5	9.4	8.7	10.8	8.8	41	25	80	89
6	10.2	8.7			36	43	77	84
gem	8.1	7.8	7.3	6.5	30	27	71	71
Sem	0.7	0.6	0.7	0.5	4.9	3.2	4.1	4.6
emissiereductie%		3		12		7		-1



De lachgasemissie was in de meeste gevallen zeer laag; in een aantal gevallen werden negatieve waarden vastgesteld. De nauwkeurigheid van de meetmethode is onvoldoende om zeer lage emissies adequaat te kunnen vaststellen; dit gebeurt bij N<sub>2</sub>O concentraties kleiner dan 1 ppm (veelal ca. 0,5 ppm) Als de gemeten achtergrondconcentratie iets hoger is dan de gemeten concentratie in de uitgaande lucht wordt een negatieve emissie berekend. In werkelijkheid is de emissie bij lage meetwaarden tussen ca. -200 en +200 mg N<sub>2</sub>O per dag niet te onderscheiden van een emissie van 0.

**Tabel 13** Per meetperiode en per meetlocatie, de gemiddelde lachgasemissie (per dierplaats, mg N<sub>2</sub>O/dag).

Bedrijf	1		2		3		4	
	1	2	1	3	1	2	1	3
Voer								
Periode								
1	24.21	4.78	18.3	-9.7	147	-183	142	101
2	39.37	63.18	-	-99.9	248	131	17	-27
3	38.66	-24.32	-	-123.7	78	52	-36	-41
4	149.5	150.43	67.6	34.4	79	114	-6	-33
5	244.8	277.81	77.3	18.2	48	1	53	16
6	162.2	-70.85			91	-81	-2	-158

### 3.2.5 Stikstofgehalte en pH in urinemonsters

Het stikstofgehalte in steekproefsgewijs genomen urinemonsters is weergegeven in tabel 14. Tussen meetlocaties en tussen meetperioden binnen meetlocaties waren er aanzienlijke variaties in het N-gehalte in de urine bij zowel het controlevoer als de emissiearme voeders. De overallgemiddelden per meetlocatie (laatste regel van de tabel) waren wel steeds lager voor voer 2 en voer 3 dan voor het controlevoer. Het gemiddelde verschil tussen het controlevoer en het emissiearme voer was het grootst op locatie 2 en het kleinste op locatie 4.

**Tabel 14** Per meetperiode en per meetlocatie, de gemiddelde stikstofconcentratie in urine (g N/l) bij toepassing van voer 1, 2 of 3

Bedrijf	1		2		3		4	
	1	2	1	3	1	2	1	3
Voer								
Periode								
1	4.9	3.8	4.0	1.0	9.7	3.4	2.9	2.6
2	4.2	3.9	4.6	4.0	1.7	2.2	2.7	2.3
3	7.2	7.9	7.6	5.5	6.3	4.3	4.7	3.6
4	6.1	4.7	4.1	3.5	2.5	2.0	4.2	3.6
5	7.9	8.0	8.0	5.0	4.0	4.4	4.8	3.3
6	9.0	5.6			4.8	6.3	5.4	7.8
gem	6.6	5.6	5.7	3.8	4.8	3.8	4.1	3.9

Het gemiddelde per periode, meetlocatie en voer is gebaseerd op 8 monsters (2 afdelingen x 4 monsters per afdeling).

De gemiddelde pH in verse urinemonsters is weergegeven in tabel 15. Bij voer 3 was –zoals beoogde pH in de urine steeds lager dan bij het controlevoer. Tussen voer 1 en voer 2 waren er slechts kleine verschillen in urine pH.

**Tabel 15** Per meetperiode en per meetlocatie, de gemiddelde pH in urine.

Bedrijf	1		2		3		4	
	1	2	1	3	1	2	1	3
Voer								
periode								
1	6.9	7.0	7.2	5.7	6.5	7.2	7.1	4.9
2	7.3	7.4	7.6	5.8	7.6	7.5	7.6	5.1
3	6.9	7.0	6.7	5.2	6.7	7.3	6.7	5.9
4	5.9	7.1	7.5	5.2	7.5	7.9	7.3	6.0
5	6.5	6.7	6.4	5.5	7.0	7.3	6.9	5.5
6	6.7	6.8			6.9	6.8	6.7	6.5
gem	6.7	7.0	7.1	5.5	7.0	7.3	7.1	5.6

Het gemiddelde per periode, meetlocatie en voer is gebaseerd op 8 monsters (2 afdelingen x 4 monsters per afdeling).

### 3.2.6 Hokbevuiling

De gemiddelde hokbevuiling is weergegeven in tabel 16. Alle hokken in een afdeling werden beoordeeld. Op de bedrijven 1 en 4 werd minder hokbevuiling aangetroffen in de afdelingen met emissiearme voeders 2 of 3 dan in de referentieafdelingen. Op bedrijf 2 was er gemiddeld wat meer hokbevuiling bij voer 3, maar tussen de afzonderlijke perioden was het beeld op dit bedrijf nogal wisselend. Op bedrijf 3 werd in geen van de meetperioden enige hokbevuiling aangetroffen.

**Tabel 16** Per bedrijf, voer en periode de hokbevuiling, uitgedrukt als het percentage van de dichte vloer dat nat was op het moment van de beoordeling (dit werd vastgesteld op basis van plattegronden waarin natte hokgedeelten werden ingetekend, direct voor of direct na het etmaal waarin de emissies gemeten werden)

Bedrijf	1		2		3 (Trad)		4 (Trad)	
	(SchW)		(SchW)					
Voer	1	2	1	3	1	2	1	3
periode								
1	42	31	5.8	21	0.0	0.0	5.0	3.3
2	nb	nb	37	34	0.0	0.0	5.8	2.5
3	30	21	7.6	7.3	0.0	0.0	37.5	1.7
4	19	8.1	3.3	12	0.0	0.0	33.3	0.0
5	11	6.6	nb	nb	0.0	0.0	21.7	2.1
6	42	17			0.0	0.0	16.3	0.4
Gem	31	18	13	18	0.0	0.0	20	1.7

nb: niet bepaald vanwege uitloop andere werkzaamheden

### 3.2.7 Botmineralisatie

#### 3.2.7.1 Parameters in botmonsters

De resultaten van de botmineralisatiebepalingen in 2 batches poten zijn weergegeven in bijlage 4.

Er werden geen grote verschillen gevonden, maar de gehalten aan ruwas, calcium en fosfor in de botjes waren bij voer 3 wel wat lager dan bij voer 1.

#### 3.2.7.2 Aanvullend bepaalde gehalten in enkele batches urinemonsters

In bijlage 5 zijn de gemiddelde gehalten in de urine (uitgedrukt in gram per liter urine) weergegeven; in bijlage 6 zijn de gehalten in de urine uitgedrukt per mmol creatinine weergegeven. In tabel 17 is de berekende uitscheiding van mineralen en ureum bij de varkens met voer 3 uitgedrukt als percentage van die bij het referentievoer.

De creatinine uitscheiding in grammen per dag is normaliter vrij constant. Door alle gehalten uit te drukken per mmol creatinine kan gecorrigeerd worden voor verschillen in urinevolume, zonder dat de urinevolumes kwantitatief bepaald zijn.

**Tabel 17** Per datum, de berekende uitscheiding van mineralen en ureum bij voer 3 uitgedrukt als percentage van die bij het referentievoer. De percentages zijn berekend met de aanname dat de creatinine uitscheiding bij de verschillende voeders gelijk is.

Bedrijf	datum	Ca (%)	K (%)	Mg (%)	Ureum (%)	Cl (%)	P <sub>anorg</sub> (%)	Na (%)
2	17-3-2011	244	77	113	72	463	71	307
2	20-4-2011	933	98	123	86	290	83	190
4	14-3-2011	1933	121	174	147	292	2	91

Uit tabel 17 blijkt dat de uitscheiding van calcium en chloride bij voer 3 fors hoger was dan bij voer 1. Met de gedeeltelijke vervanging van calciumcarbonaat door calciumchloride werd wel een verhoogde uitscheiding van chloride beoogd, maar een verhoogde uitscheiding van calcium werd niet beoogd.

Er werd geen eiwit (albumine) in de urinemonsters aangetroffen; alle monsters waren negatief. Er werd dus geen aanwijzing gevonden voor beschadiging van de nieren of de urinewegen door zure urine.

### 3.2.8 Technische prestaties

#### 3.2.8.1 Gemiddelde technische resultaten

De gemiddelde technische resultaten per locatie en voer zijn weergegeven in tabel 18. Het gemiddelde opleggewicht varieerde enigszins tussen en binnen bedrijven. Er werd wel steeds naar gestreefd om per 2 afdelingen zoveel mogelijk vergelijkbare groepen dieren op te leggen. Praktisch was het echter niet altijd mogelijk om gelijktijdig voldoende even zware dieren aan te voeren. Zoals eerder opgemerkt werd in de statistische analyse het gewicht van de dieren als covariabele meegenomen om aldus te kunnen corrigeren voor een eventueel gewichtseffect.

De gemiddelde EW opname en groei waren op locatie 3 en 4 bij het controlevoer hoger dan bij het proefvoer. Het controlevoer in de startfase was op deze bedrijven geconcentreerder (hogere EW) dan het proefvoer. Het was niet mogelijk om met de randvoorwaarden die gesteld werden aan het emissiearme voer (voer 2 en 3) hiervan ook een geconcentreerde variant als startvoer te formuleren. De gemiddelde EW conversie (EW/kg groei) verschilde op bedrijf 1 overigens niet tussen experimenteel voer en controlevoer. Op de bedrijven 1 en 2 was er vrijwel geen verschil in groei bij het experimentele voer ten opzichte van het controlevoer. Op bedrijf 3 was de gemiddelde groei wel lager bij het experimentele voer (3) dan bij het controlevoer. De gemiddelde EW conversie was op bedrijf 2 en 4 wat ongunstiger bij het experimentele voer 3 (CaCl<sub>2</sub> en eiwitarm) dan bij het controlevoer. Op de bedrijven 1 en 3 waren de verschillen in EW conversie nihil of vrijwel nihil.

De uitval was in het algemeen laag en verschilde niet substantieel tussen de behandelingen. Uit de slachtresultaten blijkt dat het vleespercentage vrijwel gelijk was voor de verschillende voerbehandelingen

**Tabel 18** Per bedrijf en per voer de gemiddelde technische resultaten (gemiddelden uitgedrukt per dier).

<b>Voer</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Staltype</b>		<b>Trad</b>	<b>Trad</b>	<b>SchW</b>	<b>SchW</b>	<b>SchW</b>	<b>SchW</b>	<b>Trad</b>	<b>Trad</b>	<b>Trad</b>
<b>Bedrijf</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Kenmerk</b>	<b>eenheid</b>									
aantal		540	543	872	864	528	528	540	543	216
opleggewicht	kg	24.4	21.4	26.2	28.2	26.15	25.45	24.4	21.4	29
geslacht gewicht	kg	86.6	85.6	89.4	89.7	91.95	91.75	86.6	85.6	91.3
aflevergewicht	kg	111.8	110.7	113.4	113.7	117.5	115.9	111.8	110.7	116.8
voeropname	kg/dag	1.96	1.95	1.96	1.95	2.04	2.05	1.96	1.95	2.26
voeropname EW	EW/dag	2.25	2.14	2.16	2.15	2.2	2.26	2.25	2.14	2.51
Groei	gr/dag	845	793	756	757	756	746	845	793	899
Voerconversie		2.32	2.45	2.59	2.6	2.7	2.75	2.32	2.45	2.52
EW conversie		2.7	2.7	2.84	2.87	2.91	3.02	2.7	2.7	2.8
Vlees	%	57.3	57.3	57.4	57	57.05	56.75	57.3	57.3	57.4
Uitval	%	2.8	2.03	1.6	1.5	1.5	2	2.8	2.03	1.4
Beren	%	50	50	50	50			50	50	64
Gelten	%	50	50	50	50	50	50	50	50	36
Borgen	%					50	50			

### 3.2.8.2 *Algemene indrukken van de varkenshouders*

Op bedrijf 1 werden geen opvallende bijzonderheden geconstateerd.

Op bedrijf 2 werd geconstateerd dat de proefgroep iets minder groeide, iets vastere mest had en schonere hokken. Verder werd er door de varkenshouder geen verschil waargenomen.

Op bedrijf 3 werd geconstateerd dat er in de proefgroepen minder groei was in de beginfase; na de startperiode herstelde de groei zich. De hokken waar het proefvoer verstrekt werd, waren makkelijker schoon te maken; de varkens zagen er ook schoner uit.

Op bedrijf 4 bleef de groei van de proefgroep(voer 3) achter; de EW-conversie viel de varkenshouder tegen.

### 3.3 Overall statistische analyse

#### 3.3.1 Emissies

In tabel 19 zijn de resultaten van de statistische analyse met statistisch model 1 samengevat en zijn de emissies per dierplaats per jaar weergegeven.

##### *Ammoniak*

Voer 2 gaf een 31% lagere ammoniakemissie dan het referentievoer; voer 3 gaf een 27% lagere ammoniakemissie dan het referentievoer. Deze voereffecten op de emissie ten opzichte van voer 1 waren statistisch significant. Tussen voer 2 en voer 3 was er geen significant verschil in ammoniakemissie.

Emissiearme huisvesting leverde een emissiereductie van 27% ten opzichte van traditionele huisvesting. Dit huisvestingseffect op de ammoniakemissie was ook statistisch significant.

Uit analyse met model 2 bleek dat er geen significant effect van dEB (mEq/kg ds voer) op de ammoniakemissie was, terwijl de emissie afnam met ca. 14% per 10 gram verlaging van het Ruw Eiwit gehalte in het voer.

##### *Geur*

Voer 2 gaf een significant lagere geuremissie dan het referentievoer; de geuremissie was bij voer 2 19% lager dan bij voer 1. Voer 3 gaf geen significant lagere geuremissie dan het referentievoer.

Er was geen significant huisvestingseffect op de geuremissie. De emissie nam wel significant toe met de staltemperatuur, namelijk met 12% per graad Celsius. Bij een staltemperatuur van 27 °C was de geuremissie dus 24% hoger dan bij 25 °C.

##### *Methaan*

De voerbehandelingen hadden geen significant effect op de methaanemissie.

De emissiearme huisvesting leverde een 84% lagere methaanemissie dan traditionele huisvesting.

Verder nam de methaanemissie toe naarmate de dieren zwaarder werden. De methaan emissie nam toe met ca. 0,7% per kg diergewicht. Het betreft hierbij methaan dat in het maagdarmkanaal van het dier wordt gevormd en methaan dat in de mestkelder wordt gevormd.

##### *Lachgas*

De lachgasemissie tendeerde naar lagere waarden bij voer 2 en voer 3. Het gemiddelde lachgasemissieniveau was laag en de variatie in lachgasemissies was relatief hoog. Er waren geen significante effecten van voer, huisvesting, diergewicht en staltemperatuur.

**Tabel 19** Per voerbehandeling en huisvestingssysteem, de emissies per dierplaats per jaar. Daarnaast is de significantie weergegeven van de effecten van voer en huisvestingssysteem en de covariabelen diergewicht en staltemperatuur op basis van statistische analyse met model 1.

Emissie	Traditionele huisvesting			Emissiearme huisvesting			Statistische significantie van effecten (P-waarde)				
	voer1	voer2	voer3	voer1	voer2	voer3	Voer	Huisv	Voer.Huisv	gewicht	Staltemp
Ammoniak NH <sub>3</sub> kg/jr <sup>2)</sup>	2.91	1.73	2.04	1.94	1.56	1.50	<0.01	0.05	0.05	<0.001	Ns
Geur OU <sub>e</sub> /s	22	20	23	29	22	24		ns <sup>1)</sup>	ns	ns	P<0.01
Methaan CH <sub>4</sub> kg/jr <sup>2)</sup>	14.2	14.0	15.4	2.7	2.6	2.5	ns	<0.001	ns	ns	Ns
Lachgas N <sub>2</sub> O kg/jr <sup>2)</sup>	0.03	0.00	-0.01	0.02	0.02	-0.01	0.07	ns	ns	ns	Ns

<sup>1)</sup> ns: niet significant (P>0.10)

<sup>2)</sup> De emissies van ammoniak, methaan en lachgas in deze tabel zijn conform het meetprotocol gecorrigeerd voor een leegstand van 3% per jaar (dit komt neer op 97% van de gemeten emissies tijdens de meetperioden toen de stallen steeds normaal bezet waren). De geuremissie is niet gecorrigeerd voor leegstand. Dit is ook conform het meetprotocol.



### 3.3.2 Technische resultaten

Op de bedrijven 1 en 2 werd een vergelijkbare groei gerealiseerd bij de verschillende voeders. Op de bedrijven 3 en 4 was de groei bij het controlevoer hoger dan op de bedrijven 1 en 2. De groei op deze (bedrijven 3 en 4) was bij het emissieverlagende voer (resp. voer 2 en voer 3) lager dan bij het controlevoer. De EW conversie verschilde niet significant tussen voer 1 en 2 op de bedrijven 1 en 3. De EW conversie was bij voer 3 op de bedrijven 2 en 4 significant hoger dan bij het controlevoer. De EW opname was op bedrijf 4 significant hoger dan op de andere bedrijven. Voer en huisvestingsysteem hadden geen significante effecten op het vlees% (slachterij) en het uitval% (mortaliteit).

**Tabel 20** Per voerbehandeling en huisvestingssysteem de technische resultaten, het vlees% en de uitval

	1		2		3		4	
	1	2	1	3	1	2	1	3
Groei, g/dag	756 <sup>a</sup>	757 <sup>a</sup>	757 <sup>a</sup>	746 <sup>a</sup>	845 <sup>b</sup>	793 <sup>c</sup>	905 <sup>d</sup>	830 <sup>bc</sup>
EW conversie	2,83 <sup>abc</sup>	2,82 <sup>abc</sup>	2,91 <sup>bc</sup>	3,03 <sup>d</sup>	2,68 <sup>a</sup>	2,76 <sup>abc</sup>	2,75 <sup>abc</sup>	3,01 <sup>d</sup>
EW opname/dag	2,15 <sup>a</sup>	2,12 <sup>a</sup>	2,20 <sup>a</sup>	2,26 <sup>a</sup>	2,26 <sup>a</sup>	2,18 <sup>a</sup>	2,50 <sup>b</sup>	2,49 <sup>b</sup>
Vlees%	57.4	57.0	57.1	56.8	57.3	57.3	57.4	57.4
Uitval%	1,6	1,5	1,5	2,0	2,8	2,0	1,4	2,1

<sup>abcd</sup> Verschillende superscripten binnen een rij geven significante verschillen (P<0.05) aan.

Bij EW conversie en EW opname is gecorrigeerd voor verschillen in opleggewicht door opleggewicht op te nemen als een covariabele.

### 3.3.3 Botmineralisatie

Overall waren de verschillen in mineralengehalten in de botjes in kwantitatieve zin niet groot, maar toch werden er enkele significante verschillen gevonden (tabel 20).

De gehalten aan ruwas, calcium en fosfor in de botjes van de gelten zijn bij voer 3 significant lager dan bij voer 1. Ook de gehalten aan ruwas en calcium in de botjes van de borgen bij voer 3 zijn significant lager dan die van de gelten bij voer 1. Tussen de borgen zijn er echter geen significante verschillen tussen voer 1 en 3.

**Tabel 21** Per voertype en sexe, het mineralengehalte (g/kg) in het gemalen, ontvette bot

parameter	Voer 1		Voer 3		lsd
	borg	gelt	borg	gelt	
Ruwas	277	288 <sup>a</sup>	268 <sup>b</sup>	266 <sup>b</sup>	18.8
Ca	108.6 <sup>ab</sup>	114.9 <sup>a</sup>	106.8 <sup>b</sup>	106.7 <sup>b</sup>	7.7
P	52.4 <sup>ab</sup>	55.3 <sup>a</sup>	51.7 <sup>ab</sup>	51.2 <sup>b</sup>	3.9

### 3.4 Economie

#### *Voerkosten*

Verlaging van het eiwitgehalte kon gerealiseerd worden door bij de optimalisering van de mengvoersamenstelling scherpe bovengrenzen aan te houden voor het eiwitgehalte. Dit heeft consequenties voor de aankoop van grondstoffen. Gedurende de looptijd van de proef waren de meerkosten van het 'laag eiwit' voer afhankelijk van de specifieke code (bedrijf en groeifase) ca. € 0,20 tot € 0,50 per 100 kg voer. De marktprijzen van grondstoffen fluctueren de laatste jaren vrij sterk. De vermelde range moet derhalve als een ruwe indicatie beschouwd worden. De uitdaging voor de mengvoerfabrikant is om het verlaagde eiwit niveau bijna kostenneutraal te realiseren.

Toevoeging van calciumchloride is vrij duur: ca. €1,- per 100 kg voer. De meerkosten hangen vooral samen met de gecapsuleerde (ingekapselde) vorm waarin het verwerkt moet worden. Dit vanwege ARBO/veiligheid (stofeisen voor medewerkers in de mengvoerfabriek).

#### *Technische resultaten*

De effecten van aanpassingen van het voer op de technische resultaten varieerden tussen de bedrijven van nihil tot aanzienlijk. Deels hingen verschillen waarschijnlijk samen met het voeren van een geconcentreerder startvoer als controlevoer. De economische effecten kunnen niet eenduidig berekend worden.

Bij het berekenen van de economische consequenties onderscheiden we daarom in deze paragraaf enkele situaties:

- (1) Alleen de voerkosten nemen toe; verder zijn er geen veranderingen in kosten en opbrengsten door toepassing van een voeraanpassing;
- (2) Naast extra voerkosten is er een afname van de groei met 2,5% en een stijging van de voerconversie met 2,5%;
- (3) Naast extra voerkosten is er een afname van de groei met 5% en een stijging van de voerconversie met 5%.

Situatie 1 en 2 verkennen we voor de voermaatregel verlaging van het eiwitgehalte in het voer.

Situatie 1, 2 en 3 verkennen we voor de voermaatregel verlaging van het eiwitgehalte in het voer en CaCl<sub>2</sub> in het voer.

In de standaardsituatie wordt uitgegaan van een groeisnelheid van 800 gram per dag en een EW-conversie van 2,76. In de 2,5%-variant bedraagt de groeisnelheid 780 gram per dag bij een EW-conversie van 2,83. Als gevolg van de lagere groeisnelheid wordt in plaats van een omzetsnelheid van 3,13 nog 3,05 rondes per jaar behaald. In de 5%-variant bedraagt de groeisnelheid 760 gram per dag bij een EW-conversie van 2,90. Als gevolg van de lagere groeisnelheid wordt in plaats van een omzetsnelheid van 3,13 nog 2,97 rondes per jaar behaald. Een lagere omzetsnelheid heeft een groot verlagend effect op het saldo. In tabel 21 wordt dit weergegeven als een toename van de jaarkosten.

#### *Huisvestingskosten*

Het verlagen van het eiwitgehalte in het voer brengt geen verandering van huisvestingskosten met zich mee. De berekende meerkosten van het toegepaste emissiearme huisvestings-systeem met schuine wanden in de put bedragen € 4,85 per dierplaats per jaar. Dit is gebaseerd op een extra investering van € 40 per dierplaats. Voor de chemische luchtwasser met 95% reductie bedragen de jaarkosten € 14,11 (waarvan € 4,19 voor rente, afschrijving, onderhoud en € 9,92 elektra, zuur, e.d.) bij een investeringsbedrag van € 32 per dierplaats.

*Milieuvoordeel versus kosten***Tabel 21** Kosten van voer en huisvestingsmaatregelen (€ per dierplaats per jaar) en ammoniakemissiereductie

	Investerings €/dierplaats	Jaarkosten €/dierplaats	Ammoniak emissie reductie	Kosten €/10% NH <sub>3</sub> - reductie
1 Eiwitarm voer: geen verandering technische resultaten +€ 0,25/100 kg voer	0	1,70	25%	0,68
2 Eiwitarm voer: 2,5% daling groei; 2,5% hogere vc +€ 0,25/100 kg voer	0	7,04	25%	2,82
3 Eiwitarmvoer +CaCl <sub>2</sub> : geen verandering technische resultaten +€ 1,25/100 kg voer	0	8,49	25%	3,40
4 Eiwitarmvoer +CaCl <sub>2</sub> : 2,5% daling groei; 2,5% hogere vc +€1,25/100 kg voer	0	13,83	25%	5,53
5 Eiwitarmvoer +CaCl <sub>2</sub> : 5% daling groei; 5% hogere vc +€1,25/100 kg voer	0	18,99	25%	7,60
6 Emissie arme huisvesting (schuine putwand en aangepaste roostervloer)	40	4,85	60%	0,81
7 Chemische luchtwasser 95%	32	14,11	95%	1,49
8 Combinatie van 1 +6	40	6,55	70%	0,94

Uit tabel 21 kan afgeleid worden dat eiwitarm voer kosteneffectief is voor bedrijven die er in slagen het eiwitarme voer toe te passen zonder daling van de groei en voerconversie.

Vergeleken met emissiearme huisvesting (Rav systeem met schuine putwand) en toepassing van een luchtwasser is de emissiereductie die bereikt kan worden met een voermaatregel beperkt. Toepassing van eiwitarm voer in combinatie met emissiearme huisvesting is ook een optie. Na toepassing van emissiearme huisvesting met een schuine putwand resulteert een emissie van 40% van de traditionele emissiefactor. Een voermaatregel kan hierbij beschouwd worden als een voorgeschakelde techniek. Maatregel 8 is een combinatie van maatregel 1 en 6. Van de resterende 40% emissie bij emissiearme huisvesting (6) zal door dit te combineren met eiwitarm voer (1) nog een kwart van die 40% gereduceerd kunnen worden, zodat 30% resteert.

### 3.5 Controle en handhaving

Voor de toepassing in de praktijk van voermaatregelen zoals eiwitverlaging is controle en handhaving belangrijk voor acceptatie door de overheid en de rechtelijke macht. Eerder zijn Startnotities gemaakt voor opname van VevoVital en een verlaagd eiwitgehalte in het voer (Levrouw *et al.*, 2006; Wegereef *et al.*, 2007).

In de Startnotities is aandacht besteed aan controle. In deze paragraaf wordt daarvan gebruik gemaakt. Voor de vergunningverlenende instantie is het van belang dat controle mogelijk is op de toepassing van ammoniakemissiearme voeders.

Indien de varkenshouder gebruik wil maken van voermaatregelen en een daaraan gekoppelde emissie(factor) ligt het voor de hand dat deze zelf verantwoordelijk is voor het beschikbaar hebben en actualiseren van de documentatie en het toegankelijk zijn van zijn bedrijf voor steekproefsgewijze fysieke controle van zijn bedrijf.

Gebruik van emissiearme voeders kan worden gecontroleerd als de volgende punten in acht worden genomen:

1. De mengvoederfabrikant voorziet het betreffende emissiearme voer van een unieke voercode met een nauwkeurig omschreven samenstelling.
2. In deze samenstelling dienen in ieder geval de gehalten van componenten die beogen de ammoniakemissie te verlagen nauwkeurig te zijn aangegeven.
3. De gehalten genoemd onder 2 dienen op het etiket te worden vermeld. Afhankelijk van het emissiereducerend principe dienen minimale, maximale of een gemiddelde met marges aangegeven te worden. Zoals voor alle andere vermeldingen op het etiket wordt de mengvoederfabrikant door de wetgever verantwoordelijk en aansprakelijk geacht voor het respecteren van de gehalten in het voeder. De etiketvermelding biedt een bijkomende garantie voor de veehouder dat hij het correcte voeder heeft gevoerd (controleerbaarheid). De voercomponenten die van belang zijn voor verlaging van de ammoniakemissie in betreffende diervoeder dienen analytisch aantoonbaar en kwantificeerbaar te zijn. Dit is noodzakelijk om etiketvermelding mogelijk te maken en niet strijdig te zijn met de huidige wetgeving inzake etikettering van diervoeders.
4. Als een bedrijf besluit tot het voeren van emissiearme voeders dan ligt het voor de hand dat alle dieren op dit bedrijf van een bepaalde diercategorie worden gevoerd met de emissiearme voeders. Controle zou echter ook op voersilo-niveau plaats kunnen vinden. Dat zou betekenen dat het mogelijk is om per stal al dan niet emissiearme voeders te verstrekken.
5. Elk bedrijf heeft een klantnummer bij de mengvoerleverancier. De controlerende instantie kan opvragen bij de mengvoerleverancier welk mengvoer met welke voercode aan een klant zijn geleverd. Door de combinatie van klantnummer en voercode kan op ieder moment een overzicht van de afname worden aangevraagd.
6. In de borgingssystematiek van het mengvoerbedrijf wordt voorzien dat de productie van emissiearm voer wordt geborgd via GMP of HACCP systematiek, met speciale aandacht voor:
  - a. controle receptuur op gehalten;
  - b. controle of voeders volgens het betreffend raamwerk zijn samengesteld. Het raamwerk bevat de verschillende eisen die aan het voeder worden gesteld. Het betreft de minimale en de maximale gehalten van bepaalde nutriënten zoals ruw eiwit, fosfaat, zetmeel etc. alsook de minimale / maximale gehalten aan voedermiddelen met het oog op voederwaarde, smakelijkheid, verwerkbaarheid, diergezondheid. Het raamwerk is de basis voor de productie. Wijzigingen zijn onderworpen aan bepaalde procedures.
  - c. afnamelijst per klantnummer met afgenomen tonnages van alle voeders en gebruikte grondstoffen opvraagbaar.
7. Voorstel: op verzoek van de controlerende instantie werkt de voerleverancier mee aan interne / externe audits. Op aanvraag van de varkenshouder wordt een door de voerleverancier volledig ingevulde en ondertekende verklaring voerleverancier voor een in te voeren "Regeling Emissie Arme Varkensveevoeders" verzonden naar de varkenshouder.
8. De varkenshouder blijft steeds verantwoordelijk voor de afname van de emissiearme voeders en voor het kunnen overleggen van de noodzakelijke documenten voor controle en handhaafbaarheid.

Voor bedrijven die zelf mengen of het mengvoer niet geheel volgens de hiervoor beschreven werkwijze aanvoeren, voldoet deze werkwijze niet en is een sluitende controle lastiger. Dit betekent echter niet dat voermaatregelen voor deze bedrijven geen optie zijn. De controle zal voor deze bedrijven nader moeten worden uitgewerkt. Aangezien het overgrote deel van de bedrijven (speciaal ook in de subklassen van kleine en middelgrote bedrijven) wel volgens de geschetste systematiek kan werken is het wenselijk om dit nu in te voeren, eventueel met uitzondering van de bedrijven die niet volledig gebruik kunnen maken van deze systematiek.

## 4 Discussie

### *Ammoniak emissiereductie ten opzichte van eerder onderzoek*

Het effect van verlaging van het eiwitgehalte in het voer had in dit onderzoek een vergelijkbaar effect op de ammoniakemissie als in eerdere onderzoeken (Aarnink en Verstegen, 2007; Canh *et al.*, 1998). Het emissiereducerende effect was zelfs iets groter dan gemiddeld in eerdere onderzoeken. Gedeeltelijke vervanging van calciumcarbonaat door calciumchloride bleek in tegenstelling tot eerdere onderzoeken geen additioneel effect op de ammoniakemissie te hebben naast verlaging van het eiwitgehalte. In eerder onderzoek werd wel gevonden dat calciumbenzoaat een sterker effect had op de pH van de mengmest dan calciumsulfide en calciumsulfaat, hoewel het effect op de urine pH niet verschilde. Dit omdat bij toevoeging van calciumbenzoaat aan het voer er hippuurzuur wordt gevormd en in de urine wordt uitgescheiden. Bij  $\text{CaCl}_2$  en  $\text{CaSO}_4$  wordt geen hippuurzuur uitgescheiden. De buffercapaciteit van hippuurzuur doet de pH van een urine en faeces mengsel (mengmest) bij toepassing van calciumbenzoaat minder stijgen dan bij toepassing van  $\text{CaCl}_2$  en  $\text{CaSO}_4$  (Aarnink en Verstegen, 2007). Uit additioneel onderzoek van enkele batches urine in verband met botmineralisatie bleek dat de calciumuitscheiding bij het voer met  $\text{CaCl}_2$  verhoogd was. Dit kan het pH verlagende effect gedeeltelijk teniet hebben gedaan. Een andere oorzaak zou kunnen zijn dat in voorgaande onderzoeken de mestopslagperiode relatief kort was (enkele weken), terwijl in dit onderzoek de mest gedurende een maand of meer werd opgeslagen. Tijdens de mestopslag vinden er verschillende (anaerobe) omzettingen plaats in de mest. Deze kunnen de pH-verschillen in de mest tussen de proefbehandeling (met  $\text{CaCl}_2$ ) en de controle hebben genivelleerd.

### *Geur*

Er werd een significant lagere geuremissie gevonden bij voer met een verlaagd eiwitgehalte ten opzichte van het referentievoer. Dit verschil was echter niet meer aanwezig wanneer aan het eiwitarme voer calciumchloride was toegevoegd. De variatie in geuremissie was –zoals gebruikelijk bij praktijkmetingen van de geuremissie- groot. In laboratoriumexperimenten werden eerder door Le *et al.* (2006) ook significante effecten van verlaging van het voereiwitgehalte op de geuremissie aangetoond. Deze onderzoekers vonden bij een eiwitverlaging van 180 naar 120 g/kg een geurreductie van 80%. In dit onderzoek was de gemiddelde reductie 19%. De eiwitverlaging was in dit onderzoek echter ook lager (ca. 23,5 g/kg). Daarnaast werden in het onderzoek van Le *et al.* (2006) evenveel synthetische aminozuren toegevoegd aan het controlevoer als aan het proefvoer. Bij toevoeging van zwavelhoudende essentiële aminozuren werd in eerder onderzoek een forse toename van de geuremissie gevonden (Le *et al.*, 2007). In het huidige onderzoek was het zwavelgehalte in het controlevoer vergelijkbaar aan dat bij de overige voeders en zal dat dus geen effect op de geuremissie gehad hebben.

### *Methaan*

De methaanemissie was bij de emissiearme voeders niet significant verschillend ten opzichte van het controlevoer. Dit is van belang omdat afwentelingseffecten ongewenst zijn: het gewenste ammoniakemissie reducerende effect van verlaging van het eiwitgehalte in het voer zou bij voorkeur niet gepaard moeten gaan met een nadelig (milieu-) effect, zoals een hogere emissie van methaan. Methaan is een sterk broeikasgas dat bijdraagt aan klimaatverandering. Bij het emissiearme huisvestingssysteem was de methaanemissie fors lager dan bij het traditionele huisvestingssysteem. Dit kan verklaard worden door het geringere mestvolume en de kortere verblijftijd van de mest in het stalsysteem met schuine wand en rioleringsysteem.

### *Lachgas*

De lachgasemissie was in het algemeen laag (nabij de detectiegrens) en moeilijk te meten door het geringe verschil ten opzichte van de achtergrondconcentratie. Er was wel een tendens naar lagere lachgasemissies bij voer 2 ten opzichte van voer 1 en nog lagere lachgasemissies bij voer 3. Hier is dus eerder sprake van een gunstig effect dan van een nadelige afwenteling.

### *Effecten van calciumchloride op botmineralisatie*

Aan het einde van de 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> ronde werd op één bedrijf de botmineralisatie beoordeeld in een steekproef van botjes (na slacht geprepareerd uit de voorpoten) van varkens met en zonder  $\text{CaCl}_2$  in het voer. De gehalten aan ruwas, calcium en fosfor in de onderzochte botjes waren licht maar wel statistisch significant lager bij varkens die het voer met  $\text{CaCl}_2$  hadden gehad dan bij de varkens die het controle voer hadden gehad. Ook in enkele batches urine die nader werden onderzocht, werd een

significant verhoogde excretie van calcium in de urine gevonden bij het voer waarin calciumcarbonaat deels vervangen was door calciumchloride. Tijdens de proef werden door de varkenshouders geen problemen met de poten of andere specifieke of algemene diergezondheidsproblemen (bij de proefgroepen noch bij de controlegroepen) waargenomen. De lichte afname van de as-, Ca- en P-gehalten in het bot en de toename van de uitscheiding in de urine waren niet alarmerend en hadden geen waarneembare effecten op de levende dieren, maar duiden er wel op dat een veel hogere dosering van CaCl<sub>2</sub> dan in de hier gerapporteerde onderzoek zeker niet wenselijk is.

In dit onderzoek is het effect van calciumchloride in het voer niet afzonderlijk van het eiwitgehalte bepaald. Alleen het gecombineerde effect van eiwitverlaging en calciumchloride werd onderzocht. Dat er ondanks een duidelijk lagere urine pH, geen duidelijk additioneel effect op de ammoniakemissie gevonden werd, kan mogelijk verklaard worden door het geringe effect op de mengmest pH als gevolg van een sterk bufferend effect van de mengmest. Het geringe effect op de mest pH zal zich waarschijnlijk ook voordoen zonder laag eiwitgehalte in het voer. De mogelijke nadelige effecten in het dier (verzuring en botontkalking) kunnen evenzeer optreden als alleen calciumchloride wordt toegevoegd. Dit is naast het tegenvallende effect op de ammoniakemissie een belangrijke overweging om deze maatregel (gedeeltelijke vervanging van calciumcarbonaat door calciumchloride) niet toe te passen.

In de literatuur zijn slechts enkele proeven met effecten van urine/mest pH verlagende zouten in het voer (zoals CaCl<sub>2</sub>) op de mineralenbalans bij vleesvarkens beschreven; veelal in een afgebakend deel (meestal een beperkt aantal weken) van een mestronde. Een urine pH  $\geq 5,5$  wordt als veilige grens geduid. In recent onderzoek van Norgaard *et al.* (2010) werd geen effect gevonden op botmineralisatie bij toevoeging van 1 of 2% benzoëzuur.

#### *Botmineralisatie bij benzoëzuur en calciumbenzoaat*

Sauer *et al.* (2009) verwijzen naar eerdere studies van Mroz waarbij de retentie van P in de ene studie verlaagd

was met calciumbenzoaat terwijl die in een andere studie bij toepassing van natriumbenzoaat verhoogd was. Er was volgens Sauer geen eenduidig beeld van de effecten van benzoaat. Sauer *et al.* (2009) deden daarom onderzoek naar het effect van benzoëzuur op botmineralisatieparameters. Zij vonden bij toenemende dosering van benzoëzuur in het voer een lineaire afname van de as concentratie in het bot; maar niet van de totale hoeveelheid as in bot; de concentraties van calcium en chloor in de asfractie van het bot nam af, terwijl de concentratie van P juist toenam. Zij concludeerden dat de benutting en het metabolisme van de macromineralen Ca, P, K, Mg, Na en Cl op verschillende wijze beïnvloed werden door benzoëzuur. Dit zou er op kunnen duiden dat er verschillende onderliggende mechanismen een rol spelen.

Bühler *et al.* (2010) deden onderzoek naar de invloed van benzoëzuur en fytase op botmineralisatie bij voeders met een laag fosfor niveau. Zij vonden dat benzoëzuur een negatief effect had op het calciumgehalte in het bot en de mineralendichtheid van het bot, vooral bij jonge biggen. Fytase had een gunstig effect op de as-, P- en Ca-gehalten in het bot. De resultaten zouden er op duiden dat benzoëzuur alleen in laag P voeders toegepast zou moeten worden in combinatie met fytase.

#### *Praktische betekenis*

Toepassing van eiwitarm voer kan met name voor bedrijven die geen geconcentreerd voer (met hoge EW en hoog RE) toepassen een aantrekkelijke, kosteneffectieve emissiereducerende maatregel zijn. Het gebruik van calciumchloride leverde geen substantiële toename van de emissiereductie en een licht nadelig effect op de botmineralisatie. Om deze redenen is het geen aantrekkelijke optie om calciumcarbonaat in het voer gedeeltelijk te vervangen door calciumchloride.

Eerder is al wel aangetoond dat calciumbenzoaat een robuust emissie reducerend effect op de emissie heeft. Dit zou mogelijk dus wel gecombineerd kunnen worden met een eiwitarm voer.

Nutritioneel zal beoordeeld moeten worden welk fytaseniveau daarbij wenselijk is.

Bakker *et al.* (2004) vonden eerder aanwijzingen dat de geuremissie als gevolg van zwavelhoudende componenten (zoals H<sub>2</sub>S) toenam door gedeeltelijke vervanging van calciumcarbonaat door calciumsulfaat. Om deze reden is toepassing van calciumsulfaat niet aantrekkelijk.



## 5 Conclusies en aanbevelingen

In dit onderzoek werd de reductie van ammoniak-, geur- en broeikasemissies bepaald bij (a) verlaging van het eiwitgehalte in het voer met ca. 25 g/kg en (b) bij combinatie van een verlaagd eiwitgehalte met gedeeltelijke vervanging van calciumcarbonaat in het voer door calciumchloride.

Het eiwitarme voer (voer 2) leverde een ammoniakemissiereductie van 31% ten opzichte van het controle voer (voer 1). Dit kwam neer op ca. 14% per 10 gram verlaging van het Ruw Eiwit gehalte in het voer. De geuremissie bij voer 2 was 19% lager dan bij voer 1. Er werd geen significant effect van het voer op de methaanemissie gevonden. De lachgasemissie was in het algemeen laag en tendeerde naar lagere waarden bij lagere eiwitniveaus in het voer. Gedeeltelijke vervanging van calciumcarbonaat door calciumchloride leverde geen additionele emissiereductie op. Het had wel een licht nadelig effect op de botmineralisatie. Om deze redenen is het geen aantrekkelijke optie om calciumcarbonaat in het voer gedeeltelijk te vervangen door calciumchloride.

Toepassing van eiwitarm voer kan met name voor bedrijven die geen geconcentreerd voer (geconcentreerd voer heeft een hoge EW en een hoog RE gehalte) toepassen een aantrekkelijke, kosteneffectieve emissie reducerende maatregel zijn.

Controle en handhaving van deze maatregel zijn goed mogelijk via voerbonnen met een digitale administratie van de voerhoeveelheden en – samenstellingen. Deze gegevens kunnen door de varkenshouder en door de voerleverancier(s) beschikbaar worden gemaakt voor controle en handhaving.

## Literatuur

- Aarnink, A. J. A., J. M. G. Hol, en G. M. Nijeboer. 2008. Ammonia emission factor for using benzoic acid (1% vevovital) in the diet of growing-finishing pigs., Animal Sciences Group, Divisie Veehouderij, Lelystad.
- Aarnink, A. J. A., en M. W. A. Verstegen. 2007. Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Sciences* 109: 194-203.
- Bakker, G. C. M., J. M. G. Hol, M. C. J. Smits, 2004. De additiviteit van voedingsmaatregelen om de ammoniakemissie te verlagen uit varkensstallen. 2. Stalmetingen en in vitro ammoniakemissie bij drie rantsoenen. Rapport 03/0003, Animal Sciences Group, Wageningen UR, Lelystad.
- Budde, R. A. and T. D. Crenshaw, 2003. Chronic metabolic acid load induced by changes in dietary electrolyte balance increased chloride retention but did not compromise bone in growing swine." *J. Anim Sci.* 81(1): 197-208.
- Bühler, K., A. Liesegang, B. Bucher, C. Wenk and J. Broz, 2010. Influence of benzoic acid and phytase in low-phosphorus diets on bone characteristics in growing-finishing pigs. *J Anim Sci* 2010.88:3363-3371
- Canh, T. T. *et al.* 1998a. Influence of electrolyte balance en acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary ph, slurry ph en ammonia volatilisation from slurry. *Livest. Prod. Sci.* 56: 1-13.
- Canh, T. T. *et al.* 1998b. Dietary protein affects nitrogen excretion en ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 56: 181-191.
- CEN standard 13725. 2003. Air quality - determination of odour concentration by dynamic olfactometry, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Chardon, W.J. en K.W. van der Hoek. 2002. Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw. p 35. Alterra / RIVM, Wageningen.
- CIGR, 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S.; K. Sällvik).
- Kienzle, E., 2009 Kationen Anionen Bilanz beim Schwein. Möglichkeiten, Risiken und Nebenwirkungen. BOKU Symposium Tierernährung, 24-27
- Le, D.P., A.J.A. Aarnink, A.W. Jongbloed, C.M.C. Van de Peet-Schwering, N.W.M. Ogink, and M.W.A. Verstegen. 2007. Effects of crystalline amino acid supplementation to the diet on odor from pig manure. *Journal of Animal Science* 85:791–801.
- Levrouw, L., A. Wegereef, en A. Aarnink. 2006. Startnotitie voor opname van vevovital in de regeling ammoniak en veehouderij (Rav). Animal Sciences Group, Lelystad.
- Mosquera, J., P. Hofschreuder, J.W. Erisman, E. Mulder, C.E. Van 't Klooster, N.W.M. Ogink, D. Swierstra en N. Verdoes, 2002. Meetmethoden gasvormige emissies uit de veehouderij. Report 2002-12. IMAG, Wageningen, the Netherlands.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de pm10 fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegelijkwaardigheid aan te tonen van meetmethoden, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- NEN-EN 14907. 2005. Ambient air quality - standard gravimetric measurement method for the determination of the pm2,5 mass fraction of suspended particulate matter, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.

Norgaard, J. V., J. A. Fernandez, K. U. Sorensen, S. Wamberg, H. D. Poulsen, and N. B. Kristensen. 2010. Effect of benzoic acid supplementation on acid-base status and mineral metabolism in catheterized growing pigs. *Livestock Science* 134(1-3):116-118.

Ogink, N.W.M. en G. Mol. 2002. Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. IMAG nota P 2002-57, 31 pp.

Ogink, N.W.M.; Mosquera Losada, J.; Hol, J.M.G., 2011. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Wageningen UR Livestock Research Rapport 454, 31 pp.

Patience, J. F. and R. K. Chaplin, 1997. The relationship among dietary undetermined anion, acid-base balance, and nutrient metabolism in swine. *J. Anim Sci.* 75(9): 2445-2452.

Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, M.J.W. Heetkamp and A.J.A. Aarnink, 2008. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal*. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December, 2008.

Sauer, W., M. Cervantes, J. Yanez, B. Araiza, G. Murdoch, A. Morales, R.T. Zijlstra, 2009. Effect of dietary inclusion of benzoic acid on mineral balance in growing pigs. *Livestock Science* 122 (2009) 162–168

Van der Peet-Schwering, C.M.C., N. Verdoes, M.P. Voermans & G.M. Beelen, 1996. Effect van voeding en huisvesting op de ammoniakemissie uit vleesvarkensstallen. Proefverslag P 1.145, Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen: 40 pp.

Wegereef, A., J. Baan, A. Aarnink, en C. Peet-Schwering. 2007. Startnotitie voor opname van het eiwitgehalte in varkensvoer in de regeling ammoniak en veehouderij (Rav). Animal Sciences Group, Lelystad.

Wintjens, Y. 1993. Gaswasfles. In Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij 16 (eds E.N.J. van Ouwerkerk), pp. 38-40. DLO, Wageningen.

## Bijlagen

### Bijlage 1 Beschrijving stalsystemen, gebruikte afdelingen en rondes

#### Bedrijf 1

In de stal waar de metingen werden uitgevoerd was de inrichting NH<sub>3</sub>-emissiearm. In dit geval werd het zogenaamde ICV-systeem toegepast. De NH<sub>3</sub>-emissie wordt gereduceerd door een beperkt emitterend oppervlak in de mestkelder. Dit wordt bereikt door een schuine plaat in de mestkelder en een beperkte mesthoeveelheid in de kelder. Hiervoor wordt regelmatig de mest uit de mestkelder verwijderd via een rioleringsysteem. Voor de uitvoering van de metingen werden 4 afdelingen gebruikt waarbij telkens 2 te vergelijken afdelingen tegenover elkaar lagen. Elke afdeling behield gedurende de gehele proef het toegekende voersoort (zie figuur 3). De afdelingen waren identiek ingericht alleen de voersamenstelling was verschillend. In twee afdelingen werd standaard voer gevoerd (controle afdelingen) en in twee afdelingen met aangepast voer 2. De eerste ronde startte in april 2010.

	Afdeling 5 proef	Afdeling 6 controle	
	Afdeling 18 controle	Afdeling 17 proef	

Figuur 1. Verdeling van de afdelingen voor het proefvoer en het controlevoer voor bedrijf 1.

**Tabel 1** Startdata van de productieperiodes van de verschillende afdelingen van bedrijf 1

Afd	Voer nr	Voer type	Productieperiode 1 Start	Productieperiode 2 Start	Productieperiode 3 Start
5	2	eiwitarm	23-4-2010	31-8-2010	13-1-2011
17	2	eiwitarm	20-4-2010	26-8-2010	30-12-2010
6	1	controle	13-4-2010	19-8-2010	17-12-2010
18	1	controle	23-4-2010	6-9-2010	13-1-2011

#### Bedrijf 2

In de stal waar de metingen werden uitgevoerd was de inrichting NH<sub>3</sub>-emissiearm. In dit geval werd het zogenaamde ICV-systeem toegepast. De NH<sub>3</sub>-emissie wordt gereduceerd door een beperkt emitterend oppervlak in de mestkelder. Dit wordt bereikt door een schuine plaat in de mestkelder en een beperkte mesthoeveelheid in de kelder. Hiervoor wordt regelmatig de mest uit de mestkelder verwijderd via een rioleringsysteem. Voor de uitvoering van de metingen werden 4 naast elkaar gelegen afdelingen gebruikt. Elke afdeling behield gedurende de gehele proef het toegekende voersoort (zie figuur 2). De afdelingen waren identiek ingericht alleen de voersamenstelling was verschillend. In twee afdelingen werd standaard voer gevoerd (controle afdelingen) en in twee afdelingen met aangepast voer in dit geval voer 3. De eerste ronde startte in augustus/september 2010. Een eerdere ronde werd in een warme periode in juli 2010 niet bemeten omdat de varkenshouder vreesde voor problemen door hittestress.

	Afdeling1 controle	Afdeling 2 proef	Afdeling 3 proef	Afdeling 4 controle	

Figuur 2. Verdeling van de afdelingen voor het proefvoer en het controlevoer voor bedrijf 2.

**Tabel 2** Start en einddata van de productieperiodes van de verschillende afdelingen van bedrijf 2

Afd	code	voer	Productieperiode 1 start	Productieperiode 2 Start
2	2	eiwitarm	9-9-2010	25-1-2011
3	2	eiwitarm	16-9-2010	11-2-2011
1	1	controle	25-8-2010	11-1-2011
4	1	controle	23-9-2010	21-1-2011

**Bedrijf 3**

In de stal waar de metingen werden uitgevoerd was de inrichting traditioneel. Er werd dus geen ammoniakemissiearm systeem in de stal toegepast. Voor de uitvoering werden 4 naast elkaar gelegen afdelingen gebruikt. Elke afdeling behield gedurende de gehele proef de toegekende voersoort (zie figuur 3).

	Afdeling7 controle	Afdeling 8 controle	Afdeling 9 proef	Afdeling 10 proef	

Figuur 3 Verdeling van de afdelingen voor het proefvoer en het controlevoer voor bedrijf 3.

De afdelingen waren identiek ingericht alleen de voersamenstelling was verschillend. In twee afdelingen werd standaard voer gevoerd (controle afdelingen met voer 1) en in twee afdelingen aangepast voer (voer 2). Tabel 1 geeft de startdata van de productierondes tijdens het onderzoek.

**Tabel 3** Startdata van de productieperiodes van de verschillende afdelingen van bedrijf MS3

Afd	Voer nr	Voer type	Productieperiode 1 start	Productieperiode 2 Start	Productieperiode 3 Start
7	2	eiwitarm	12-3-2010	22-7-2010	7-12-2010
8	2	eiwitarm	12-3-2010	9-7-2010	10-12-2010
9	1	controle	24-2-2010	14-6-2010	10-12-2010
10	1	controle	4-3-2010	2-7-2010	7-12-2010

**Bedrijf 4**

In de stal waar de metingen werden uitgevoerd was de inrichting traditioneel, hiermee wordt bedoelt dat er geen NH<sub>3</sub>-emissiearm systeem in de stal werd toegepast. Voor de uitvoering werden 4 afdelingen gebruikt. De twee afdelingen die met elkaar werden vergeleken lagen naast elkaar. Elke afdeling behield gedurende de gehele proef de toegekende voersoort (zie figuur 4).

Afdeling 1	Afdeling 2	Afdeling 3	Afdeling 4	Afdeling 5	Afdeling 6
proef	controle			proef	controle

Figuur 4. Verdeling van de afdelingen voor het proefvoer en het controlevoer voor bedrijf MS4

De afdelingen waren identiek ingericht alleen de voersamenstelling was verschillend. In twee afdelingen werd standaard voer gevoerd (controle afdelingen) en in twee afdelingen het aangepaste voer 3.

**Tabel 2** Startdata van de productieperiodes van de verschillende afdelingen van bedrijf 4

Afd	Voer nr	Voer type	Productieperiode 1 start	Productieperiode 2 start	Productieperiode 3 start
1	3	eiwitarm en CaCl	10-5-2010	31-8-2010	21-12-2010
2	1	controle	10-5-2010	31-8-2010	21-12-2010
5	3	eiwitarm en CaCl	10-5-2010	23-8-2010	21-12-2010
6	1	controle	25-5-2010	6-9-2010	21-12-2010

**Bijlage 2 Samenstelling startvoer van bedrijf 2**

Gevoerd in de controleafdelingen gedurende de eerste 10 dagen na opleggen.

bedrijf	2
voer	1
specifieke fasering voeders	eerste 10 dagen
EW 2005	115
RE g/kg	164.5
VNSP CVB	93.1
S	0.4
vP	3.7
DS	880
dEb (mEq/kg DS)	158

**Bijlage 3 Samenstelling afmestvoeders van de bedrijven 1 en 2**

Gevoerd in de controleafdelingen gedurende de laatste 14 dagen voor de slacht.

bedrijf	1	2
voer	1	1
specifieke fasering voeders	laatste 14 dagen	laatste 14 dagen
EW 2005	105	102
RE g/kg	153.4	149.5
VNSP CVB	151.8	144.2
S	0.5	0.5
vP	1.9	2.1
DS	880	880
dEb (mEq/kg DS)	148	157

**Bijlage 4 Botmineralisatiebepalingen in 2 batches poten.**

Per ronde, afdeling, sexe en voer, de gemiddelde waarden van de vastgestelde parameters in de botjes.

Ronde	Afdeling	Sexe	behandeling	geslacht_gewicht_kg	Botgewichten (2 botjes) g	Ruw_as g /kg gedroogd materiaal	Calcium_g/kg gedroogd materiaal	Fosfor g/kg gedroogd materiaal	Ruw_vet_g g/kg gedroogd materiaal	Vocht g/kg	droge_stof_g/kg gemalen_bot	ontvet_en_droog_materiaal_g/kg	Ruw_as g/kg gemalen bot	Calcium_g/kg gemalen bot	Fosfor g/kg gemalen bot	Ruw_vet_g/kg gemalen_bot	Ca_g_in_botjes	P_g_in_botjes	Ruwvet_g_in_botjes
1	3	borg	proef	94.3	34.8	428	405	201	251	189	811	607	<b>260</b>	<b>105</b>	<b>52.3</b>	203	3.7	1.8	7.0
1	3	gelt	proef	93.5	32.2	414	406	199	258	201	799	592	<b>245</b>	<b>100</b>	<b>48.7</b>	207	3.2	1.6	6.7
1	4	borg	controle	94.0	37.0	438	397	193	280	159	841	606	<b>266</b>	<b>106</b>	<b>51.5</b>	235	3.9	1.9	8.7
1	4	gelt	controle	101.2	37.7	444	406	200	237	169	831	633	<b>281</b>	<b>114</b>	<b>56.3</b>	198	4.3	2.1	7.6
2	2	borg	proef	90.6	32.9	463	391	184	274	176	824	598	<b>277</b>	<b>108</b>	<b>51.0</b>	226	3.6	1.7	7.4
2	2	gelt	proef	94.4	34.8	466	396	187	240	190	810	615	<b>287</b>	<b>114</b>	<b>53.5</b>	195	3.9	1.9	6.8
2	5	borg	controle	90.1	34.5	505	387	185	289	194	806	573	<b>289</b>	<b>112</b>	<b>53.4</b>	233	3.8	1.8	8.1
2	5	gelt	controle	88.9	33.9	504	393	185	279	192	808	583	<b>293</b>	<b>115</b>	<b>54.2</b>	225	3.9	1.8	7.6
1		borg	% proef:controle*			98	102	104	89	119	96	100	<b>98</b>	<b>99</b>	<b>102</b>	86	94	96	81
1		gelt	% proef:controle			93	100	99	109	119	96	94	<b>87</b>	<b>87</b>	<b>87</b>	105	75	74	88
2		borg	%			92	101	100	95	91	102	104	<b>96</b>	<b>97</b>	<b>96</b>	97	93	92	92
2		gelt	%			92	101	101	86	99	100	106	<b>98</b>	<b>99</b>	<b>99</b>	87	101	101	89

\*het niveau van de parameter in de proefafdeling is uitgedrukt als percentage van het niveau in de controleafdeling



**Bijlage 5 Aanvullend bepaalde gehalten in enkele batches urinemonsters; uitgedrukt in mmol per liter urine.**

Per datum, afdeling en voer, de gehalten in urinemonsters (uitgedrukt in mmol per liter urine)

Bedrijf	datum	afdeling	voer	Calcium_mmol/l	Creatinine_mol/l	Kalium_mmol/l	Magnesium_mmol/l	Ureum_mmol/l	Chloride_mmol/l	Anorg_fosfor_mmol/l	Natrium_mmol/l	Ureum_g/l
2	17-03-2011	1	1	9.0	4009	32.2	3.9	53.9	16.5	0.2	6.7	3.2
2	17-03-2011	3	1	19.8	6021	65.6	6.6	89.8	40.0	0.3	9.1	5.4
2	17-03-2011	2	3	48.6	6525	45.9	7.9	60.3	150.8	0.2	21.2	3.6
2	17-03-2011	4	3	44.5	7349	54.8	8.1	82.4	196.0	0.2	47.8	4.9
2	20-04-2011	1	1	3.2	15141	73.7	12.3	256.0	34.0	9.0	9.0	15.4
2	20-04-2011	3	1	3.0	12624	95.1	10.8	172.9	96.3	6.5	25.4	10.4
2	20-04-2011	2	3	30.9	10364	44.5	12.3	80.1	162.0	1.3	16.1	4.8
2	20-04-2011	4	3	12.1	10039	79.0	8.7	186.9	130.8	8.1	34.3	11.2
4	14-03-2011	2	1	2.0	6562	62.1	7.0	139.9	68.3	6.3	23.7	8.4
4	14-03-2011	6	1	1.4	3562	36.5	5.9	86.4	32.8	8.4	12.8	5.2
4	14-03-2011	1	3	38.3	5958	49.3	11.9	173.5	139.3	0.2	21.0	10.4
4	14-03-2011	5	3	46.1	6859	106.2	18.7	260.1	232.3	0.2	20.9	15.6

**Bijlage 6 Aanvullend bepaalde gehalten in enkele batches urinemonsters; uitgedrukt in mmol per mmol creatinine**

Per datum, afdeling en voer, de gehalten in urinemonsters (uitgedrukt in mmol per mmol creatinine).

Bedrijf	Datum	Afd	diet	Ca	K	Mg	Ureum	Cl	P <sub>anorg</sub>	Na
2	17-3-2011	1	ref	2.24	8.03	0.96	13.44	4.12	0.05	1.66
2	17-3-2011	3	ref	3.28	10.89	1.09	14.92	6.64	0.04	1.51
2	17-3-2011	2	CaCl2	7.44	7.03	1.21	9.24	23.10	0.03	3.24
2	17-3-2011	4	CaCl2	6.06	7.46	1.10	11.21	26.67	0.03	6.50
2	20-4-2011	1	ref	0.21	4.87	0.81	16.90	2.25	0.59	0.59
2	20-4-2011	3	ref	0.24	7.53	0.85	13.69	7.62	0.52	2.01
2	20-4-2011	2	CaCl2	2.98	4.30	1.18	7.73	15.63	0.12	1.55
2	20-4-2011	4	CaCl2	1.20	7.86	0.86	18.62	13.02	0.80	3.41
4	14-3-2011	2	ref	0.30	9.47	1.06	21.32	10.40	0.96	3.61
4	14-3-2011	6	ref	0.38	10.23	1.66	24.26	9.19	2.34	3.60
4	14-3-2011	1	CaCl2	6.43	8.27	2.00	29.12	23.37	0.03	3.52
4	14-3-2011	5	CaCl2	6.72	15.48	2.73	37.92	33.86	0.03	3.05

Alle gehalten uitgedrukt in mmol per mmol creatinin



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl) | [www.livestockresearch.wur.nl](http://www.livestockresearch.wur.nl)