

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 591

Voermaatregelen voor ammoniakreductie in stallen voor zeugen en biggen

Juli 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
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
onderzoekopdrachten zijn de Algemene
Voorwaarden van de Animal Sciences Group
van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de
Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

In this study the options are shown to reduce
ammonia emission from sow houses by feeding
measures.

Keywords

Sow housing, ammonia emission, feed
composition

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

A.J.A. Aarnink
P. Bikker
J.T.M. van Diepen

Titel

Voermaatregelen voor ammoniakreductie in
stallen voor zeugen en biggen

Rapport 591

Samenvatting

In deze studie worden de mogelijkheden
aangegeven om de ammoniakemissie uit
zeugenstallen te reduceren via
voermaatregelen.

Trefwoorden

Zeugenstal, ammoniakemissie,
voersamenstelling

Rapport 591

Voermaatregelen voor ammoniakreductie in stallen voor zeugen en biggen

Feeding measures to reduce ammonia emission from houses for sows and piglets

A.J.A. Aarnink

P. Bikker

J.T.M. van Diepen

Juli 2012

Voorwoord

De varkenshouderij staat voor een belangrijke opgave om in 2013 te voldoen aan de grenswaarden voor ammoniakemissie die gesteld worden in het Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij (Besluit huisvesting). Er is veel onderzoek gedaan naar mogelijkheden om via huisvestingsmaatregelen de ammoniakemissie te beperken. Echter, uit onderzoek bij met name vleesvarkens blijkt dat ook voermaatregelen zeer effectief kunnen zijn om de ammoniakemissie te beperken. Vooral voor bedrijven die geen dure investeringen meer willen doen in bestaande stallen, bieden voermaatregelen misschien een mogelijkheid om aan het Besluit huisvesting te voldoen. Dit kan op dit moment alleen voor stoppende bedrijven in het kader van het Actieplan Ammoniak Veehouderij. In dit rapport is beschreven wat de mogelijkheden zijn om via voermaatregelen de ammoniakemissie op zeugenbedrijven te reduceren. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie.

Mede namens de co-auteurs,

André Aarnink
Projectleider

Samenvatting

Alle varkensstallen in Nederland moeten in 2013 ammoniak-emissiearm zijn. De emissiearme systemen die op dit moment in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) staan, brengen in het algemeen hoge kosten met zich mee wanneer bestaande stallen moeten worden verbouwd. In het kader van het Actieplan ammoniak en het Programma stikstof wordt verkend of het mogelijk is om de ammoniakemissie te reduceren via voer- en managementmaatregelen die aantoonbaar effectief, controleerbaar en handhaafbaar zijn. De doelstelling van dit onderzoek was te inventariseren wat de mogelijkheden zijn, inclusief effecten en kosten, van voermaatregelen om de ammoniakemissie op zeugenbedrijven te verminderen.

De ammoniakemissie uit urine en mengmest in varkensstallen wordt sterk beïnvloed door het ammoniumgehalte en de pH. Er zijn verschillende mogelijkheden om via voeding het ammoniumgehalte en de pH van urine en mengmest van varkens te verlagen:

- Verlaging ammoniumgehalte:
 - o Verlaging van de stikstofexcretie;
 - o Verschuiving van de stikstofexcretie via ureum in urine naar eiwit in de feces.
- Verlaging pH:
 - o Verlaging van de pH van urine;
 - o Verlaging van de pH van feces.

Verlaging van de stikstofexcretie kan worden bereikt via verlaging van het eiwitgehalte in het voer onder toevoeging van synthetische aminozuren om in de nutritionele behoefte te voorzien.

Verschuiving van de stikstofexcretie via ureum in urine naar (bacterieel) eiwit in feces kan worden bereikt door een verhoging van het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten (NSP's) in het voer. Deze maatregel geeft tevens een verlaging van de pH van feces en mengmest. Verlaging van de pH van urine kan worden bereikt door toevoeging van benzoëzuur, door vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 , CaSO_4 , Ca-benzoaat of Ca-formiaat of door een verlaging van de kation/anion balans.

Op basis van dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat de volgende voermaatregelen perspectief bieden om op zeugenbedrijven de ammoniakemissie te reduceren:

- Verlaging van het eiwitgehalte in biggenvoer met 10 tot 30 g/kg en in voer voor guste en drachtige zeugen met 10 tot 20 g/kg, onder aanvulling van synthetische aminozuren.
- Toevoeging van 5 tot 10 g/kg benzoëzuur aan voeders voor biggen, guste en drachtige zeugen en lacterende zeugen. Op dit moment heeft alleen toevoeging van 5 g/kg benzoëzuur aan biggenvoeders een EU registratie als zoötechnisch diervoeradditief.
- Vervanging van krijt (CaCO_3) in het voer door Ca-benzoaat. Echter dit toevoegmiddel heeft op dit moment nog geen EU registratie als zoötechnisch diervoeradditief.
- Maatregelen die de pH van de urine verlagen moeten in samenhang met elkaar worden bekeken, aangezien teveel verzuring van de urine ongewenste neveneffecten, waaronder botontkalking en verlaging van de voeropname kan hebben.
- Verhoging van het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten kan vooral perspectief bieden voor guste en drachtige zeugen. Het voordeel van deze verhoging is een hogere verzadiging van de zeugen, terwijl het nadeel is een hogere methaanemissie. Via een goede optimalisering van het voer zullen de extra kosten moeten worden beperkt.

Daarnaast kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Er is in het algemeen geen of weinig interactie tussen effecten van voermaatregelen en andere emissie reducerende maatregelen. Effecten zijn daarom in het algemeen additief. Dit betekent dat de relatieve reductie van voermaatregelen (in %) gelijk is voor traditionele en emissiearme stallen.
- Effecten van voermaatregelen op de ammoniakemissie vertonen onderling geen of weinig interactie. Effecten zijn daarom in het algemeen additief.
- De controle en handhaafbaarheid van voermaatregelen hoeven geen probleem te vormen. Voermaatregelen kunnen op de meeste bedrijven met (relatief) geringe inspanningen (via geautomatiseerde controle van datastromen) worden gecontroleerd.

Op basis van dit onderzoek wordt aanbevolen om de effecten van voeders op het ammoniumgehalte en de pH van urine en mengmest modelmatig in te schatten. Op basis van deze berekeningen kan vervolgens ingeschat worden wat het effect is van deze voeders op de ammoniakemissie. Op deze manier zou voor elke voeder een inschatting gemaakt kunnen worden van de potentiële ammoniakemissie uit varkensstallen.

Summary

All pig farms in the Netherlands should have implemented low ammonia emission systems by 2013. The low ammonia emission systems that are now listed in the Rav (Regulation on ammonia and livestock), are generally costly to be implemented by renovation of existing pig houses. In the framework of the Action plan for ammonia and the Program on nitrogen an inventory is made of the possibility to implement nutritional and management measures to reduce ammonia emission. These measures should evidently be effective, controllable and maintainable. The objective of this study was to make an inventory of the possible feeding measures to reduce ammonia emissions from sow farms, including their effects on ammonia emissions and the costs.

The ammonia emission from urine and manure in pig houses are considerably influenced by the ammonium content and the pH. There are different possibilities to lower the ammonium content and the pH of urine and manure of pigs by feeding measures:

- Lowering ammonium content:
 - Lowering of nitrogen excretion;
 - Shifting nitrogen excretion from urea in urine to protein in feces.
- Lowering pH:
 - Lowering pH of urine;
 - Lowering pH of faeces.

Lowering the nitrogen excretion can be reached by lowering the protein content of the diet, while adding synthetic amino acids to fulfil nutritional requirements. Shifting nitrogen excretion from urea in urine to (bacterial) protein in faeces can be reached by raising the content of fermentable carbohydrates (NSP's) in the diet. This measure also will lower the pH of faeces and manure. Lowering the pH of urine can be reached by addition of benzoic acid, by exchanging CaCO_3 in the diet by CaCl_2 , CaSO_4 , Ca-benzoate or Ca-formiate, or by lowering the cation/anion balance.

Based on this study it can be concluded that the following feeding measures have perspectives to reduce ammonia emissions from sow farms:

- Lowering the protein content of the diet of weaned piglets, dry and pregnant sows, and farrowing sows with 10 to 30 g/kg, while adding synthetic limiting amino acids.
- Addition of 5 to 10 g/kg benzoic acid to diets of weaned piglets, dry and pregnant sows, and farrowing sows. The advised addition for weaned piglets, dry, pregnant, and farrowing sows is 5 g/kg.
- Replacing chalk (CaCO_3) in the diet by CaCl_2 , CaSO_4 , Ca-benzoate or Ca-formiate. From these additives Ca-benzoate has the largest effect on ammonia emission. This additive, however, has not yet a recognition as a feed additive. Calcium-formiate is already often used as replacement for chalk, while this additive positively influences health and production results of the pigs. The effect of Ca-formiate on ammonia emission, however, is relatively small.
- Measures that lowers the pH of urine should be treated in connection to each other, because too much acidification of the urine ($\text{pH} < 5.5$) can cause negative side effects (e.g. osteoporosis, lowering feed intake).
- Increasing the content of fermentable carbohydrates has especially good prospects for dry and pregnant sows. The advantage of this increase is a better animal welfare, while the disadvantage is a higher methane emission.

Furthermore, the following conclusions could be drawn:

- Generally, no or little interaction is observed between effects of feeding measures and other emission reducing measures. Therefore, effects are generally additive. This means that relative reductions of feeding measures (in %) are equal for traditional and low emission housing systems.
- Effects of feeding measures on ammonia emission, generally, show no or little interaction. Therefore, effects are generally additive.
- The control and maintenance of feeding measures does not need to be a problem. On most farms feeding measures can be controlled with (relatively) little effort (by automated control of data streams).

Based on this study it is recommended that the effects of different diets on the ammonium content and the pH of urine and manure is model-based estimated. Based on these calculation the effects of the diets on ammonia emissions can be estimated. In this way for each diet an estimation can be made of the potential ammonia emission from pig houses.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Mogelijke voermaatregelen.....	2
2.1	Verlaging eiwitgehalte	2
2.2	Toevoeging benzoëzuur.....	3
2.3	Vervanging CaCO_3 door CaSO_4 of CaCl_2	4
2.4	Vervanging CaCO_3 door Ca-benzoaat.....	5
2.5	Vervanging CaCO_3 door Ca-formiaat.....	5
2.6	Verlaging kation/anion balans in het voer	6
2.7	Extra toevoeging fermenteerbare koolhydraten aan het voer.....	6
2.8	Effecten van voermaatregelen op andere vormen van emissie.....	7
2.8.1	Geuremissie.....	7
2.8.2	Emissie van broeikasgassen (methaan en lachgas)	8
2.9	Samenvatting effecten voermaatregelen	8
3	Combinatie met andere emissie reducerende maatregelen.....	10
4	Haalbaarheid en kosten van voermaatregelen	12
5	Controle en handhaafbaarheid	14
6	Discussie	16
7	Conclusies	18
8	Aanbevelingen.....	19
	Literatuur	20

1 Inleiding

Alle varkensstallen in Nederland moeten in 2013 emissiearm zijn. De emissiearme systemen die op dit moment in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) staan brengen in het algemeen hoge kosten met zich mee wanneer bestaande stallen moeten worden verbouwd. Via een combinatie van kleine huisvestingmaatregelen kan de grenswaarde voor ammoniakemissie misschien ook worden bereikt. Daarnaast zal in het kader van het Actieplan ammoniak een stoppersregeling worden geformuleerd, waarin maatregelen zullen worden opgenomen – technisch, voer en management – die stoppende ondernemers kunnen gebruiken om te voldoen aan de maximale emissiewaarden in het Besluit huisvesting. In het kader van het Programma stikstof wordt verkend of het mogelijk is om een nieuwe bijlage in de Rav op te nemen en juridisch te verankeren. Deze nieuwe bijlage zou dan voer- en managementmaatregelen kunnen bevatten die aantoonbaar effectief, controleerbaar en handhaafbaar zijn.

De afgelopen 15 jaar is veel kennis verkregen van de mogelijkheden om bij vleesvarkens de ammoniakemissie via aanpassing van het voer te verlagen. Bij vleesvarkens is ook geïnventariseerd wat de mogelijkheden zijn om via simpele huisvesting- en managementmaatregelen de ammoniakemissie te beperken. Hier zijn verschillende mogelijkheden naar voren gekomen die perspectief bieden. Wat de mogelijkheden bij zeugen zijn is nog onvoldoende onderzocht. In deze deskstudie beperken we ons tot mogelijke voermaatregelen om de ammoniakemissie bij zeugen (inclusief biggen) te reduceren. Aangezien deze maatregelen ook een effect zouden kunnen hebben op de emissies van geur en broeikasgassen, zijn deze effecten ook meegenomen in dit onderzoek.

De doelstelling van dit onderzoek was te inventariseren wat de mogelijkheden, effecten en kosten zijn, van voermaatregelen om de ammoniakemissie op zeugenbedrijven te verminderen. Het onderzoek was gericht op alle categorieën zeugen: gaste, drachtige en lacterende zeugen, en biggen. Dit onderzoek is uitgevoerd in dezelfde lijn als eerder is gebeurd voor vleesvarkens (Aarnink et al., 2010) en voor pluimvee (Veldkamp et al., 2011). In deze deskstudie is tevens ingegaan op mogelijke neveneffecten op emissies van geur en broeikasgassen. Er wordt geen effect van de voermaatregelen op de emissie van fijnstof verwacht gezien het feit dat er voeders worden ingezet die qua vorm en structuur vergelijkbaar zijn met de gangbare voeders en gezien het feit dat voer slechts in beperkte mate bijdraagt aan fijnstof in de lucht (Aarnink et al., 2011). Verder zal een inschatting worden gemaakt van de kosten van de perspectiefvolle voermaatregelen. In dit rapport wordt tevens ingegaan op de mogelijkheden die er zijn voor controle en handhaafbaarheid van de maatregelen. Hierbij is gebruik gemaakt van de studie die eerder is uitgevoerd voor vleesvarkens (Aarnink et al., 2010).

2 Mogelijke voermaatregelen

De ammoniakemissie uit urine en mengmest in varkensstallen wordt vooral beïnvloed door:

1. Het ammoniumgehalte
2. De pH
3. Het emitterend oppervlak
4. De temperatuur
5. De luchtsnelheid / het ventilatiedebiet
6. De urease-activiteit

Vooraf de eerste twee variabelen kunnen beïnvloed worden via voeding. Het ammoniumgehalte in urine en mengmest wordt vooral bepaald door de uitscheiding van stikstof via de urine in de vorm van ureum. Deze ureum wordt door het enzym urease, dat aanwezig is in de feces en op bevulde vloeren, omgezet in ammonium en kooldioxide. Dit ammonium is in evenwicht met ammoniak. Bij een lage pH verschuift het evenwicht naar het oplosbare ammonium en bij een hoge pH verschuift dit evenwicht naar het vluchtige ammoniak. Er zijn verschillende mogelijkheden om via voeding het ammoniumgehalte en de pH van urine en mengmest van varkens te verlagen

- Verlaging ammoniumgehalte:
 - o Verlaging stikstofexcretie via verlaging van het eiwitgehalte;
 - o Verschuiving van de stikstofexcretie van ureum in urine naar eiwit in de feces.
- Verlaging pH:
 - o Verlaging van de pH van urine;
 - o Verlaging van de pH van feces.

In de navolgende paragrafen zal ingegaan worden op de mogelijkheden om het ammoniumgehalte en de pH van urine en mengmest te verlagen bij de verschillende categorieën varkens op zeugenbedrijven.

2.1 Verlaging eiwitgehalte

Eiwit is de belangrijkste bron van essentiële en niet-essentiële aminozuren in de voeding. Het principe van een verlaging van het ruw eiwitgehalte is gebaseerd op het feit dat varkens geen behoefte hebben aan ruw eiwit maar aan de aminozuren. Door het ruw eiwitgehalte te verlagen en tegelijkertijd de limiterende essentiële aminozuren in zuivere vorm aan het voer toe te voegen kan worden voorkomen dat de productieprestaties afnemen bij een lager eiwitgehalte.

Het effect van eiwitgehalte in het voer op de ammoniakemissie is al vrij uitgebreid onderzocht bij vleesvarkens, zowel in Nederland (Canh et al., 1998b; Le et al., 2007b) als internationaal (Hayes et al., 2004; Kay and Lee, 1997; Latimier and Dourmad, 1993). Gemiddeld werden reducties gevonden van ca. 10-12,5% in ammoniakemissie bij elke 10 g/kg verlaging van het eiwitgehalte in het voer. In een onderzoek van Smits et al. (2012) werd een groter effect gevonden van ruw eiwit verlaging op de ammoniakemissie bij vleesvarkens, namelijk 14% reductie per 10 g/kg verlaging van het ruweiwitgehalte. De verlaging in ammoniakemissie is enerzijds het gevolg van een verlaagd ammoniumgehalte van de mengmest en anderzijds van een lagere pH van mengmest met een lager ruw eiwitgehalte (Aarnink and Verstegen, 2007).

Bij verlaging van het eiwitgehalte bij gespeende biggen mogen vergelijkbare effecten op de ammoniakemissie worden verwacht als bij vleesvarkens. Uit een groot aantal recente studies met gespeende biggen, waarin het eiwitgehalte werd verlaagd van 240 naar 200 g/kg (Htoo et al., 2007), van 211 naar 183 (Barea et al., 2009), van 205 naar 170 g/kg (Lordello et al., 2008), van 195 naar 161 g/kg (Jansman et al., 2008), van 190 naar 170 (Norgaard and Fernandez, 2009) en van 169 naar 151 g/kg (Vinyeta et al., 2010) blijkt dat ook bij biggen een verlaging van het ruw eiwitgehalte zonder verlies aan productie mogelijk is. Een voorwaarde hierbij is dat in de behoefte aan alle essentiële aminozuren wordt voorzien door gebruik van zuivere aminozuren omdat anders de groeiprestaties afnemen, zoals bijvoorbeeld gevonden door Nyachoti et al. (2006). Daarnaast speelt de voersamenstelling een rol. Bikker et al. (2007) vonden bij een verlaging van het ruweiwitgehalte in het voer van 220 naar 150 g/kg bij een laag gehalte aan fermenteerbare koolhydraten (75 g/kg) een significante toename van de groei (+50 g/d), maar bij een hoog gehalte aan fermenteerbare koolhydraten (135 g/kg) een verslechterde de voerconversie (van 1,49 naar 1,59). Het verlagen van

het ruw eiwitgehalte van het voer heeft een aantal bijkomende voordelen, zoals een lagere eiwitfermentatie en verlaging van potentieel schadelijke microbiologische metabolieten in het maagdarmkanaal (Nyachoti et al., 2006; Bikker et al., 2007; Htoo et al., 2007), en een betere mestconsistentie (Norgaard and Fernandez, 2009).

In een onderzoek bij drachtige zeugen vonden Korniewicz et al. (geciteerd door Gajewczyk et al. (2010)) een verlaging van de N-uitscheiding via de urine van 18% bij een verlaging van het eiwitgehalte in het voer van 13 g/kg (van 130 naar 117 g/kg) in het begin van de dracht (dag 1 – 90) tot 17 g/kg (van 170 naar 153 g/kg) aan het eind van de dracht (dag 91 – 110). Bij een verlaging van het eiwitgehalte in het voer van 26 g/kg (van 130 naar 104 g/kg) in het begin van de dracht (dag 1 – 90) tot 25 g/kg (van 170 naar 145 g/kg) aan het eind van de dracht (dag 91 – 110) vonden deze auteurs een verlaging van de N-uitscheiding via de urine van 23%. Van der Peet-Schwering et al. (2005) vonden een verlaging van de N-uitscheiding van 9% bij een verlaging van het eiwitgehalte in het voer voor drachtige zeugen van 10 g/kg. Dit betekent dat bij zeugen een vergelijkbare verlaging van de stikstofuitscheiding werd gevonden als bij vleesvarkens. Hieruit volgt dat bij zeugen een vergelijkbaar effect op de ammoniakemissie mag worden verwacht als bij vleesvarkens bij een verlaging van het gehalte aan ruweiwit in het voer (10 - 12,5% reductie bij 10 g/kg lager ruweiwitgehalte). Gajewczyk et al. (2010) vonden geen effect van een verlaagd eiwitgehalte in het voer voor drachtige zeugen op de conditie en de productie van de zeugen.

Gajewczyk et al. (2010) keken in hetzelfde onderzoek ook naar de lacterende zeugen. Deze kregen hetzelfde voer als de hoog-drachtige zeugen. Ze vonden dat het gewicht van de biggen bij spenen significant lager was (-8%) bij verlaging van het eiwitgehalte met 17 of 25 g/kg ten opzichte van de controlegroep. Dit verschil werd volgens de auteurs waarschijnlijk veroorzaakt door een groter aantal gespeende biggen in de beide groepen zeugen met verlaagd eiwit in het voer (+0.3 en +0.4 extra gespeende biggen). Verder werden geen verschillen gevonden in de reproductieresultaten.

Renaudeau et al. (2001) vonden bij een eiwitverlaging in het voer van 176 naar 142 g/kg bij lacterende zeugen een verlaging in de N-excretie in mest plus urine van circa 30% zonder negatief effect op de melkproductie en de groei van de biggen. Silva et al. (2009) vonden eveneens geen negatief effect van een eiwitverlaging in het voer van 173 naar 141 g/kg en aanvulling met zuivere aminozuren op de prestaties van zeugen en biggen in een warme omgeving.

Om verlies aan productie te voorkomen moet een verlaging van het eiwitgehalte van het voer altijd gepaard gaan met toevoeging van limiterende aminozuren (vooral lysine, methionine / cysteine, threonine, tryptofaan). Hoe lager het ruweiwitgehalte des te meer aminozuren limiterend worden en in zuivere vorm moeten worden toegevoegd. Dit geeft een verhoging van de kosten van het voer. Als aan voorgaande eis wordt voldaan hoeft eiwitverlaging geen gevolgen te hebben voor de productie van de dieren. Voor biggen geeft een lager eiwitgehalte zelfs een betere gezondheid.

2.2 Toevoeging benzoëzuur

Het effect van toevoeging van benzoëzuur, bekend onder de commerciële naam VevoVital®[®], aan het voer op de ammoniakemissie is volgens het officiële meetprotocol (Ogink et al., 2010) onderzocht bij vleesvarkens op vier verschillende bedrijven. Uit dit onderzoek is gebleken dat toevoeging van 1,0% benzoëzuur in het voer de ammoniakemissie met gemiddeld 15,8% ($\pm 4,2\%$) verlaagde (Aarnink et al., 2008). Het effect van benzoëzuur varieerde tussen de bedrijven van 5,9 tot 23,0%. Dit verschil tussen bedrijven was echter niet significant. De verlaging van de urine pH als gevolg van toevoeging van 1,0% benzoëzuur was gemiddeld 1.3 (spreiding tussen bedrijven 1,0 – 1,7). Murphy et al. (2011) vonden bij toevoeging van 1,0% benzoëzuur aan het voer bij vleesvarkens een pH verlaging van de urine van 1,04 eenheden. Dit gaf een verlaging van de ammoniakemissie met 30%. Deze hogere reductie zou te maken kunnen hebben met het feit dat de ammoniakemissie metingen zijn uitgevoerd in een modelopstelling of met een andere voersamenstelling resulterend in een lager pH-bufferend vermogen van de feces. Bij toevoegingen van 2,0 en 3,0% benzoëzuur aan het voer werd in het onderzoek van Murphy et al. (2011) een ammoniakreductie gevonden van respectievelijk 41 en 72%. (Norgaard et al., 2010a; 2010b) vonden bij vleesvarkens een pH verlaging van de urine van 0,9 en 1,7 eenheden bij respectievelijk 1% en 2% toevoeging van benzoëzuur. Zij vonden geen effect van deze toevoegingen op de intermediaire stofwisseling van P en Ca.

Voor biggen is de ammoniakreductie nog niet vastgesteld. Wel werd bij biggen bij toevoeging van 0,5 en 1,0% benzoëzuur een verlaging van de urine pH gevonden van gemiddeld respectievelijk 0,6 en 1,0 eenheden (Kluge et al., 2006). De verlaging van de urine pH is vergelijkbaar met die bij vleesvarkens. Alhoewel de pH verlaging van de mengmest ook van de bufferende werking van de feces afhangt, mag bij biggen een vergelijkbaar effect op de ammoniakemissie worden verwacht als bij vleesvarkens. Dit zal echter via metingen moeten worden geverifieerd. Benzoëzuur heeft tevens een gunstig effect op de groeiprestaties en de darmgezondheid en wordt om die redenen al regelmatig toegevoegd aan biggenvoerders. Kluge et al. (2006) vonden bij biggen bij toevoeging van 0,5 en 1,0% benzoëzuur een hogere voeropname, een hogere groei en een lichte verlaging van de voerconversie.

Bij kraamzeugen werd ook een duidelijke relatie gevonden tussen de benzoëzuurdosering in het voer en de pH van de urine. Bij een benzoëzuurdosering van 0,5, 1,0 en 2,0% werd de urine pH met respectievelijk 0,6, 1,3 en 1,8 eenheden verlaagd (Kluge et al., 2010). De verlaging van de urine pH bij een benzoëzuurdosering van 1,0% is vergelijkbaar met die bij vleesvarkens. Daarom mag bij kraamzeugen een vergelijkbaar effect op de ammoniakemissie worden verwacht als bij vleesvarkens. Dit zal echter via metingen moeten worden geverifieerd. Ook een eventuele invloed op het calciummetabolisme bij zeugen moet daarbij worden onderzocht. Bij de hoge dosering benzoëzuur (2,0%) leek er een verlaging te zijn van de voeropname (niet statistisch significant).

Benzoëzuur heeft een EU registratie als een zoötechnisch diervoeradditief voor biggen en vleesvarkens onder nummer 4d210. Aan vleesvarkensvoer mag 0,5 tot maximaal 1% benzoëzuur worden toegevoegd. Aan voer voor gespeende biggen mag (maximaal en minimaal) 0,5% worden toegevoegd. Voor zeugen is benzoëzuur niet geregistreerd als een zoötechnisch diervoeradditief. Wettelijk gezien mag benzoëzuur wel worden toegevoegd aan zeugenvoeders als 'flavouring compound' (= aroma). Hiervoor geldt geen beperking qua dosering. Echter, zo'n registratie veronderstelt dat de producent van het additief een nieuw dossier indient voor registratie als een zoötechnisch diervoeradditief. Voor VevoVital® zal DSM een dossier indienen voor toepassing bij zeugen. De geadviseerde dosis benzoëzuur aan zeugenvoer is, evenals bij gespeende biggen, 0,5%.

Voor biggen is ook 0,4% Na-benzoaat onder de commerciële naam Protural toegelaten. De verwachting is dat dit product een vergelijkbaar effect heeft op de ammoniakemissie als benzoëzuur. Misschien is het effect iets geringer vanwege het feit dat de dEB (zie paragraaf 2.6) met ca. 28 mEq/kg voer omhoog gaat, als gevolg van extra natrium toevoeging.

2.3 Vervanging CaCO_3 door CaSO_4 of CaCl_2

In de huidige varkensvoerders wordt calcium (Ca) in het algemeen in de vorm van CaCO_3 (krijt) aan het voer toegevoegd. Carbonaat is een base en zorgt voor een relatief hoge pH van de urine en de mengmest. Vervanging van CaCO_3 door een verzurende Ca-bron geeft een sterk effect op de pH van urine en verlaagt tevens, alhoewel in mindere mate, de pH van de mengmest. Vervanging van 3 g Ca in de vorm van CaCO_3 door 3 g Ca in de vorm van CaCl_2 of CaSO_4 gaf bij vleesvarkens een verlaging van de urine pH met meer dan 1 eenheid en van de pH van de mengmest van ca. 0,8 eenheid (Canh et al., 1998a). Als gevolg van deze pH daling gaf voorgaande vervanging een ammoniakemissie-reductie van 24% (Canh et al., 1998a). In het onderzoek van Canh et al. (1998a) had vervanging van 3 of 6 g CaCO_3 per kg voer door CaCl_2 of CaSO_4 geen effect op de voeropname van de vleesvarkens. Deze varkens werden echter beperkt gevoerd, waardoor een effect bij onbeperkt gevoerde dieren op basis van deze gegevens niet à priori kan worden uitgesloten. Bakker et al. (2002b) gaven aan dat een urine pH van 5,5 als een veilige ondergrens kan worden gehanteerd. Vervanging van 3 g Ca in de vorm van CaCO_3 door 3 g Ca in de vorm van CaCl_2 of CaSO_4 gaf in het onderzoek van Canh et al. (1998a) een urine pH boven de 5,5 bij een dEB (Na+K-Cl; zie paragraaf 2.6) van 320 mEq/kg ds van het voer. Bij een verlaging van de dEB naar 100 mEq/kg ds daalde de urine pH wel onder de 5,5. Uit onderzoek van Smits et al. (2012) in praktijkstallen voor vleesvarkens bleek dat vervanging van 3 g Ca in de vorm van CaCO_3 door 3 g Ca in de vorm van CaCl_2 in een eiwitarm voer geen additioneel effect had op de ammoniakemissie. Dit komt niet overeen met de verwachting, aangezien in onderzoek van Bakker et al. (Bakker et al., 2002a; Bakker et al., 2002b) geen interacties werden gevonden tussen effecten van eiwitgehalte en verzurende Ca-zouten (in dit geval CaSO_4).

Uit voorgaande kan geconcludeerd worden dat de vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 of CaSO_4 de pH van urine en mengmest kan verlagen, maar dat dit middel met voorzichtigheid moet worden gehanteerd. Een (te) lage kation/anion balans heeft gevolgen voor de voeropname en de groei van de dieren. Hierbij moet gestreefd worden naar een optimum (zie paragraaf 2.6). Verder lijkt het erop dat de effecten in de praktijk tegen kunnen vallen. Dit zou te maken kunnen hebben met de mestopslag in de stal. Als er veel anaerobe vergisting plaats vindt in de stal zou dit het pH effect weleens gedeeltelijk teniet kunnen doen.

2.4 Vervanging CaCO_3 door Ca-benzoaat

Het voordeel van toevoeging van Ca-benzoaat aan het voer ten opzichte van benzoëzuur ten aanzien van de verlaging van de pH van urine en mengmest, is dat niet alleen het benzoaat een verlaging geeft van de pH door de vorming van hippuurzuur, maar dat tevens het basische CaCO_3 wordt vervangen. Hierdoor wordt min of meer een dubbel effect bereikt. Uit onderzoek van Canh et al. (1998a) blijkt dat door vervanging van 3 g Ca in de vorm van CaCO_3 door 3 g Ca in de vorm van Ca-benzoaat de pH van urine en mengmest van vleesvarkens werd verlaagd met respectievelijk 1,5 en 1,3 eenheden. De ammoniakemissie werd hierdoor verlaagd met ca. 50%. Bij biggen en zeugen mogen vergelijkbare effecten worden verwacht. Bij vleesvarkens had toevoeging van 3 g Ca in de vorm van Ca-benzoaat geen effect op de voeropname van beperkt gevoerde vleesvarkens. Toevoeging van 6 g Ca in de vorm van Ca-benzoaat gaf wel een verlaging van de voeropname. Bij toevoeging van Ca-benzoaat aan voer voor zeugen en biggen mogen vergelijkbare effecten op de pH van urine en mengmest en op de ammoniakemissie worden verwacht als voor vleesvarkens. Dit zal echter nader moeten worden onderzocht, evenals het effect op de voeropname.

Op dit moment heeft Ca-benzoaat nog geen EU registratie als zoötechnisch diervoeradditief.

2.5 Vervanging CaCO_3 door Ca-formiaat

Door CaCO_3 te vervangen door Ca gebonden aan organische zuren, bijvoorbeeld mierenzuur (Ca-formiaat), kan de pH van urine en mengmest ook worden verlaagd. In dit geval wordt het basische CO_3 vervangen door een organisch zuur. Dit organisch zuur draagt weliswaar niet bij aan een verlaging van de pH van urine en mengmest, vanwege de afbraak van dit zuur in de stofwisseling, maar toevoeging van Ca-formiaat kan toevoeging van CaCO_3 vervangen. Door de verlaging van CO_3 in het voer wordt de pH van urine en mengmest verlaagd. Uit extrapolatie van resultaten uit het onderzoek van Canh et al. (1998a) blijkt dat vervanging van 3 g Ca in de vorm van CaCO_3 door 3 g Ca in de vorm van Ca-formiaat de pH van urine en mengmest van vleesvarkens kan verlagen met respectievelijk 0,23 en 0,13 eenheden, berekend uit het effect van de CO_3 verlaging in het voer. Deze pH verlaging van urine en mengmest is beduidend kleiner dan de verlaging die werd gevonden door vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 of CaSO_4 , die bij deze vervanging een pH verlaging van urine en mengmest gaven van respectievelijk 1,0 en 0,8 eenheden. Het effect op de ammoniakemissie zal dan ook een stuk kleiner zijn dan bij toevoeging van CaCl_2 of CaSO_4 . De verwachte reductie van de ammoniakemissie bij vervanging van 3 g Ca in de vorm van CaCO_3 door 3 g Ca in de vorm van Ca-formiaat bedraagt ca. 5%. Door meer CaCO_3 te vervangen door Ca-formiaat kan deze reductie enigszins worden opgevoerd.

Ca-formiaat heeft een bacterieremmende werking en kan daardoor tevens bijdragen aan de darmgezondheid van de varkens. Uit onderzoek is gebleken dat het toevoegen van Ca-formiaat aan het voer bij gespeende biggen een significante verhoging gaf van de groei en voeropname en een significante verbetering van de voerefficiëntie (Bosi et al., 2007; Roth and Kirchessner, 1998).

2.6 Verlaging kation/anion balans in het voer

Een verlaging van de kation/anion balans geeft een verlaging van de urine-pH en daarmee een verlaging van de pH en de ammoniakemissie van de mengmest. De kation/anion balans kan op verschillende manieren worden gedefinieerd:

1. $(\text{Na} + \text{K}) - \text{Cl}$ (dEB, dietary electrolyte balance)
2. $(\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl} + \text{S})$ (dEBS, dietary electrolyte balance, including sulphur)
3. $(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) - (\text{Cl} + \text{P} + \text{S})$ (dUA, dietary undetermined anion)

Naast vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 of CaSO_4 kan dEBS tevens verlaagd worden door het Na- of K-gehalte in het voer te verlagen. Op basis van onderzoek van Canh e.a. (1998a) wordt ingeschat dat bij elke verlaging van dEBS met 100 milli-equivalenten (mEq) per kg ds voer de ammoniakemissie met 7% daalt. Per kg mengvoer (met een ds-gehalte van 88%) betekent dit dat de ammoniakemissie met ca. 8% daalt. Het effect van vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 of CaSO_4 is groter dan voornoemd effect, aangezien een base (CO_3^{2-}) wordt vervangen door een zuur.

De kation/anion balans mag echter niet te laag zijn, aangezien dan processen in het lichaam op gang komen om het zuur in bloed en urine te neutraliseren waardoor o.a. ontkalking van botten kan optreden. Daarnaast heeft een (te) lage kation/anion balans een effect op de voeropname en de groei. Uit onderzoek van Patience et al. (1987) blijkt dat bij biggen van 8 tot 12 weken oud een dEB onder de 0 mEq/kg voer tot een lagere voeropname en groei leidt. Dersjant-Li et al. (2001) vonden bij biggen van 5 weken oud een duidelijk lagere voeropname en groei bij een dEB van -100 dan bij een dEB van 200 en 500 mEq/kg voer. Patience en Wolynetz (1990) vonden bij biggen van 7 weken een logaritmisches toenemend effect van dUA op de groei van de dieren. Boven een dUA van ca. 200 mEq/kg voer was het effect op de groei gering. In een onderzoek van Colina et al. (2001) werd aangetoond dat toevoeging van 1,95% CaCl_2 aan het voer van biggen, wat een dEB gaf van -7 mEq/kg voer, leidde tot een significante verlaging van de voeropname en de groei.

Bij lacterende zeugen tendeerde een hogere dEB in het voer (250 vs. 130 mEq/kg) naar een hoger gewicht van de biggen op 21 dagen leeftijd (Dove and Haydon, 1994). Echter DeRouchey et al. (2003) vonden geen effect van voeders met een dEB variërend van 0, 100, 200, 350 tot 500 mEq/kg voer op de voeropname en het gewicht van zeugen en biggen bij spenen. Wel werd bij een lagere dEB een significant lagere pH van de urine gevonden: dalend van 7,70 bij een dEB van 500 naar 4,87 bij een dEB van 0. Daarnaast werd een significante daling van het aantal bacteriën in de urine van de zeugen en een significante daling van de uitval van de biggen tijdens de zoogperiode gevonden bij een daling van dEB in het voer.

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden dat voorzichtig moet worden omgesprongen met een verlaging van de kation/anion balans van het voer, aangezien dit de productie kan beïnvloeden. Hierbij moet worden gestreefd naar een optimum. Deze zal bij biggen waarschijnlijk tussen 100 en 200 mEq/kg voer liggen. Bij lacterende zeugen is de optimale dEB wat moeilijker aan te geven. Een lagere dEB lijkt gunstig te zijn voor een lagere bacteriële infectiedruk en uitval van biggen tijdens de zoogperiode, echter ongunstig voor voeropname en groei van biggen. Bij praktische toepassing moet tevens rekening worden gehouden met het effect van dEB in de periode rond afbiggen. Veelal wordt in de praktijk een verlaging van de dEB gehanteerd bij de overgang van dragend zeugenvoer naar lacterend zeugenvoer (Bikker, 2011, pers. meded.). Daarnaast heeft het verlagen van de kation/anion balans onvoldoende effect op de ammoniakemissie als dit niet gecombineerd wordt met een vervanging van krijt (CaCO_3) in het voer (zie paragraaf 2.3). Voor het inschatten van effecten van voersamenstelling op de ammoniakemissie (voer-ammoniakemissie-model) moet deze echter wel worden meegenomen.

2.7 Extra toevoeging fermenteerbare koolhydraten aan het voer

Opname van (extra) fermenteerbare koolhydraten ofwel niet-zetmeel koolhydraten (non-starch polysaccharides: NSP) aan het voer heeft op twee manieren invloed op de ammoniakemissie:

1. Het zorgt voor een verschuiving van N-uitscheiding via de urine naar N-uitscheiding via de feces;
2. Het zorgt voor een verlaging van de pH van de mengmest door een toename van het gehalte aan vluchtige vetzuren.

De verschuiving in N-excretie van urine naar feces wordt veroorzaakt doordat ureum in het bloed via uitscheiding in de dikke darm wordt gebonden in bacterieel eiwit (Bakker et al., 1996; Bakker and Dekker, 1998; Bakker et al., 1998). Fermenteerbare koolhydraten zorgen voor de noodzakelijke energie voor dit proces. Bij onvoldoende fermenteerbare koolhydraten wordt de ureum terug geresorbeerd in het bloed en vervolgens uitgescheiden via de urine. De afbraak van eiwit in de mengmest naar ammoniak is een veel langzamer proces dan de afbraak van ureum naar ammoniak. Volgens Spoelstra (1979) duurt het bij 18 °C 70 dagen voordat 43% van het eiwit in de mest is afgebroken. Ureum daarentegen wordt in het algemeen binnen enkele uren afgebroken (Elzing et al., 1992; Elzing and Swierstra, 1993). Door verhoging van het NSP gehalte in het voer van 140 naar 310 g/kg vonden Canh et al. (1997) bij vleesvarkens een verlaging in de verhouding tussen urine-N /feces-N van 3,8 naar 1,2. Door verschillende studies met vleesvarkens te combineren vond Jongbloed (2001) de volgende relatie tussen de verhouding N-uitscheiding via de urine en via de feces (urine-N/feces-N; g/g; = Y) en gehalte aan fermenteerbare koolhydraten (NSP-gehalte; = X) in het voer: $Y = 178,1 X^{-0,83}$ ($R^2=0,79$). Door verschillende onderzoeken te combineren (Canh et al., 1998b; Canh et al., 1998c; Canh et al., 1998d) komen we voor vleesvarkens op de volgende schatting van NSP-gehalte op de ammoniakemissie: voor elke toename van het NSP-gehalte met 100 g/kg voer neemt de ammoniakemissie af met 12%. Dit effect kan variëren afhankelijk van de soort NSP. Het gaat vooral om de NSP die gefermenteerd (verteerd) wordt in de dikke darm (vooral hemicellulose en cellulose). Daarom is het verteerbare NSP-gehalte (vNSP-gehalte) in feite een betere maat voor het effect op de ammoniakemissie.

Het is aannemelijk dat het hiervoor beschreven mechanisme ook bij biggen en zeugen effectief is vanwege de overeenkomstige vertering en fermentatie in het maagdarmkanaal. Zo vonden Bikker et al. (2007) bij biggen van 26 dagen een verlaging van de ammoniakproductie in het maagdarmkanaal bij een verlaging van het ruw eiwitgehalte en bij een verhoging van het vNSP-gehalte. Bij biggen is de verterings- en fermentatiecapaciteit van het maagdarmkanaal echter nog minder goed ontwikkeld waardoor voer met een hoog aandeel NSP kan resulteren in een lagere vertering, meer risico op verteringsstoornissen en dunne mest en een minder efficiënte groei (o.a. Bikker et al., (2007). Bij biggen heeft daarom het verlagen van het ruw eiwitgehalte de voorkeur boven verhoging van het NSP-gehalte. Wanneer de effecten die gemeten zijn bij vleesvarkens worden doorgetrokken naar de studie bij biggen (Bikker et al., 2007), dan wordt bij een verlaging van het eiwitgehalte in het biggenvoer van 220 naar 150 g/kg een verlaging van de ammoniakemissie verwacht van 70%. Bij een verhoging van het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten van 75 naar 135 g/kg wordt een verlaging van de ammoniakemissie verwacht van 7%.

Nadelen van het verhogen van het (f)NSP-gehalte in het voer zijn: 1) de verteerbaarheid van de voercomponenten neemt af, waardoor de mestuitscheiding toeneemt (Mooser and Van Kempen, 2002); 2) de emissie van methaan neemt toe (Kirchgeßner et al., 1991); 3) de voeropname daalt. Verhoging van het NSP-gehalte lijkt vooral een optie te zijn voor guste en drachtige zeugen en minder voor snel groeiende dieren (biggen, vleesvarkens) of dieren met een hoge energiebehoefte die moeilijk voldoende energie kunnen opnemen (lacterende zeugen). Voor guste en drachtige zeugen heeft het voeren van voer met een hoog gehalte aan NSP's een gunstige invloed op het welzijn (Van der Peet-Schwering, 2002).

2.8 Effecten van voermaatregelen op andere vormen van emissie

2.8.1 Geuremissie

Uit onderzoek van Le et al. (2007b) bij vleesvarkens blijkt dat de geuremissie met 80% werd gereduceerd door het eiwitgehalte te verlagen van 180 naar 120 g/kg. Hayes et al. (2004) vonden een verlaging van de geuremissie met 33% bij een verlaging van het eiwitgehalte in het voer voor vleesvarkens van 190 naar 160 g/kg. Uit onderzoek van Le et al. (2007a) blijkt dat binnen het eiwit vooral de zwavelhoudende aminozuren de geuremissie beïnvloeden. De zwavelhoudende aminozuren, methionine en cysteine, worden in het algemeen niet in overmaat aan het voer toegevoegd. Dit betekent dat de concentratie zwavelhoudende aminozuren in het voer optimaal moet worden afgestemd op de behoefte van het dier. Hiermee wordt voorkomen dat overtollige zwavelhoudende aminozuren worden afgebroken naar geur veroorzakende componenten.

Toevoeging van benzoëzuur aan het voer bij vleesvarkens had geen effect op de geuremissie (Aarnink et al., 2008; Murphy et al., 2011) of op de emissie van methaan en lachgas (Aarnink et al., 2008). Ook bij de andere diercategorieën wordt daarom geen effect van benzoëzuurtoevoeging aan het voer op de emissie van geur en broeikasgassen verwacht.

Vervanging van CaCO_3 door CaSO_4 zou een verhoging kunnen geven van de geuremissie, aangezien het sulfaat in de mengmest wordt gereduceerd tot H_2S . Vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 heeft daarom de voorkeur, omdat HCl geen geur veroorzaakt. De pH verlaging van de mengmest zal naar verwachting geen effect hebben op de geuremissie aangezien in het benzoëzuuronderzoek ook geen aantoonbaar effect op de geuremissie werd waargenomen.

De vervanging van CaCO_3 door Ca-benzoaat heeft naar verwachting geen effect op de geuremissie. Deze vervanging is min of meer vergelijkbaar met de toevoeging van benzoëzuur aan het voer, waarbij ook geen effect op de geuremissie werd gevonden. Om dezelfde reden wordt ook geen effect verwacht van Ca-formiaat toevoeging op de geuremissie.

Bij verlaging van de anion/kation balans wordt geen effect op de geuremissie verwacht, aangezien de pH verlaging van de mengmest in het benzoëzuuronderzoek ook geen aantoonbaar effect op de geuremissie opleverde.

Het is niet bekend wat het effect is van fermenteerbare koolhydraten op de geuremissie. Aan de ene kant worden stikstof en zwavel vastgelegd in bacterieel eiwit, aan de andere kant worden extra vluchtige vetzuren gevormd. Verder onderzoek zal hier uitsluitsel over moeten geven.

2.8.2 Emissie van broeikasgassen (methaan en lachgas)

Alhoewel hier niet zoveel over bekend is, is de verwachting dat het eiwitgehalte, in de range die hiervoor is besproken, geen grote invloed heeft op de methaanvorming. Een hoog ammoniumgehalte in de mest kan de methaanvorming wel afremmen (Angelidaki et al., 1993; Belmonte et al., 2011; Hansen et al., 1998). Een hoog ammoniumgehalte wordt in het algemeen verkregen door een combinatie van een hoog eiwitgehalte in het voer en een lage wateropname. Het eiwitgehalte kan enige invloed hebben op de vorming van lachgas (N_2O). Echter, de productie van lachgas in de huidige mengmestssystemen is vrijwel verwaarloosbaar. In strosystemen kan eiwitverlaging wel leiden tot minder vorming van lachgas.

Toevoeging van benzoëzuur aan het voer bij vleesvarkens had geen effect op de emissie van methaan en lachgas (Aarnink et al., 2008). Om deze reden wordt ook geen effect verwacht van de andere verzurende componenten in het voer (CaCl_2 , CaSO_4 , Ca-benzoaat, Ca-formiaat, verlaging kation/anion balans). Alhoewel de pH van de mest wel een belangrijke invloed kan hebben op de methaanvorming (Sanchez et al., 2000), hebben de hiervoor besproken voerveranderingen een relatief te gering effect op de pH in de mest om een wezenlijke invloed op de methaanemissie te hebben.

Het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten in het voer heeft een belangrijke invloed op de methaanemissie (Kirchgessner et al., 1991). Zoals hiervoor aangegeven komt een verhoging van het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten in het voer vooral in aanmerking voor voeders voor guste en drachtige zeugen. Vanwege het lage voerniveau neemt het verzadigingsgevoel van deze zeugen toe bij een hoger gehalte aan fermenteerbare koolhydraten. Dit verhoogd het welzijn van deze dieren. De toename van de methaanemissie zal daarom afgewogen moeten worden tegen een verbetering van het dierwelzijn en een verlaging van de ammoniakemissie. Het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten heeft naar verwachting geen groot effect op de emissie van lachgas uit de mengmest.

2.9 Samenvatting effecten voermaatregelen

In Tabel 1 wordt een samenvatting gegeven van geschatte effecten van voermaatregelen bij biggen en zeugen op de ammoniakemissie. Hierbij is aangegeven bij welke diercategorie de maatregel toepasbaar is en in welke range het kan worden toegepast. De referentiewaarden voor eiwitgehalte van het voer zijn gebaseerd op de gehalten zoals die begin jaren '90 golden (IKC-veehouderij, 1993).

Begin jaren '90 zijn de verschillende referentiewaarden voor ammoniakemissie vastgesteld. De referentiewaarden voor kation/anion balans en NSP-gehalte zijn gebaseerd op de huidige situatie. Deze verschillen naar verwachting niet veel van de situatie van begin jaren '90.

Tabel 1 Samenvatting effecten voermaatregelen op de ammoniakemissie

Maatregel	Categorie ¹⁾	Referentie waarde	Verandering	Eenheid	Verandering emissie (%)	Range in voeraanpassing ²⁾
Eiwitverlaging	Biggen GenD zeugen Lacterende zeugen	180 135 160	-20 -20 -20	g/kg voer	-20 -20 -20	(-10) – (-30) (-10) – (-20) (-10) – (-20)
Toevoeging benzoëzuur (VevoVital®)	Biggen GenD zeugen Lacterende zeugen	0 0 0	5 5 5	g/kg voer	-8 -8 -8	5 – 10 ³⁾ 5 – 10 ⁴⁾ 5 – 10 ⁴⁾
Toevoeging Na-benzoaat (Protural)	Biggen	0	4	g/kg voer	-6	4 – 103
CaCO ₃ → CaCl ₂	Biggen GenD zeugen Lacterende zeugen	0 0 0	3 3 3	g Ca/kg voer	-24 ⁵⁾ -24 ⁵⁾ -24 ⁵⁾	1 – 3 ⁶⁾ 1 – 3 ⁶⁾ 1 – 3 ⁶⁾
CaCO ₃ → Ca-benzoaat	Biggen GenD zeugen Lacterende zeugen	0 0 0	3 3 3	g Ca/kg voer	-50 -50 -50	1 – 3 ⁷⁾ 1 – 3 ⁷⁾ 1 – 3 ⁷⁾
CaCO ₃ → Ca-formiaat	Biggen GenD zeugen Lacterende zeugen	0 0 0	3 3 3	g Ca/kg voer	-5 -5 -5	3 – 6 3 – 6 3 – 6
Kation/anion balans	Biggen GenD zeugen Lacterende zeugen	170 200 200	-100 -100 -100	mEq/kg voer	-8 -8 -8	(-100) – (-200) (-100) – (-200) (-100) – (-200)
Fermenteerbare koolhydraten (NSP)	GenD zeugen	250	100	g/kg voer	-12	100 – 200

¹⁾ GenD zeugen = Geste en drachtige zeugen

²⁾ Range in voeraanpassing = mogelijke range van de verandering van het voer; eenheid is gelijk aan die in kolom 'Eenheid'

³⁾ Benzoëzuur en Na-benzoaat hebben bij biggen op dit moment alleen een registratie als zoötechnisch diervoeradditief in een dosering van respectievelijk 5 en 4 g/kg

⁴⁾ Benzoëzuur heeft op dit moment nog geen registratie als zoötechnisch diervoeradditief

⁵⁾ Dit effect lijkt in praktijkstallen geringer te zijn (zie Smits et al., 2012)

⁶⁾ De mogelijke verandering hangt tevens af van de kation/anion balans van het uitgangvoer. De minimum dEB is voor biggen en zeugen is ca. 100 mEq/kg voer.

⁷⁾ Ca-benzoaat heeft op dit moment nog geen registratie als zoötechnisch diervoeradditief

3 Combinatie met andere emissie reducerende maatregelen

Dit hoofdstuk is gedeeltelijk overgenomen uit het rapport Aarnink e.a. (2010).

Voermaatregelen kunnen met alle andere emissiearme technieken worden gecombineerd. De belangrijkste vraag hierbij is of de voermaatregelen relatief gezien even effectief zijn in emissiearme stallen als in standaard stallen. Voor deze analyse is het belangrijk om te kijken naar de verschillende emissiereducerende principes van voermaatregelen:

- 1) Verlaging eiwitgehalte voer → verlaging N-uitscheiding urine → lagere ammoniumconcentraties in urine en mengmest.
- 2) Toevoeging benzoëzuur, vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 , CaSO_4 , Ca-benzoaat, Ca-formiaat → verlaging pH urine → verlaging pH mengmest.
- 3) Toevoeging fermenteerbare koolhydraten → verlaging pH feces en verschuiving N-urine naar N-feces → verlaging pH mengmest en verlaging ammoniumgehalte mengmest

Het merendeel van de varkensstallen heeft een roostervloer met daaronder een mestkelder. De urine en feces komen gescheiden terecht op de roostervloer, waarna ze in de mestkelder met elkaar mengen. Ammoniak vervluchtigt vooral uit de urine en de mengmest. Een deel van de ammoniak vervluchtigt daarbij vanaf het rooster en een ander deel vanuit de mestkelder. Bij varkens vervluchtigt het merendeel van de ammoniak uit de mestkelder. Voorgaande zaken zijn van belang om te bepalen of er een interactie is tussen het effect van voermaatregelen en het effect van emissiearme technieken, zoals nu opgenomen in de Rav. Voor luchtwassers geldt al dat de effecten van emissiearme technieken additief zijn ten opzichte van het effect van de luchtwasser.

Ad 1. Verlaging eiwitgehalte voer

Verlaging van het eiwitgehalte van het voer zorgt er voor dat zowel het ammoniumgehalte in de urine als het ammoniumgehalte in de mengmest worden verlaagd en wel (vrijwel) in dezelfde mate. Dit betekent dat ook de ammoniakemissiereductie vanaf de roostervloer vergelijkbaar zal zijn met die vanuit de mestkelder. Het relatieve effect van deze voermaatregel zal daarom zowel bij emissiearme technieken die gericht zijn op vermindering van de ammoniakemissie vanaf de roostervloer als op vermindering van de ammoniakemissie uit de mestkelder vergelijkbaar zijn.

Ad 2. Toevoeging benzoëzuur, vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 , CaSO_4 , Ca-benzoaat, Ca-formiaat
Deze maatregelen verlagen de pH van de urine en de pH van de mengmest. Hierbij wordt de pH van de urine in het algemeen meer verlaagd dan de pH van de mengmest, aangezien de mengmest een grotere bufferende werking heeft dan de urine. Op basis hiervan mag een grotere emissiereductie vanaf het roostervloer dan uit de mestkelder verwacht worden. Dit geldt echter alleen als de oude urineplassen regelmatig worden weggespoeld met nieuwe urineplassen. De emissiesnelheid van ammoniak neemt namelijk weliswaar af bij een lagere pH, maar de hoeveelheid ammonium-N is gelijk. Als de urineplas voldoende tijd krijgt om vrijwel alle ammonium-N in de vorm van ammoniak te emitteren, zal er weinig effect zijn van de urine-pH op de ammoniakemissie. In het algemeen kan voor varkensstallen worden gesteld dat urineplassen regelmatig worden verversd en daardoor niet gemakkelijk uitgeput zullen raken t.a.v. ammonium-N. De verwachting is dat het effect van deze maatregel op de roosteremissie niet veel zal afwijken van die van de kelderemissie. Modelberekeningen zullen hier een betere onderbouwing aan kunnen geven.

Ad 3. Toevoeging fermenteerbare koolhydraten

Toevoeging van fermenteerbare koolhydraten geeft een verlaging van de pH van feces en een verschuiving van N-uitscheiding via de urine, in de vorm van ureum, naar N-uitscheiding via de feces, in de vorm van bacterieel eiwit. Dit geeft een verlaging van de pH van de mengmest en een verlaging van het ammoniumgehalte van de mengmest. De verschuiving van de uitscheiding van N via de urine naar de feces zorgt er voor dat zowel het ammoniumgehalte in de urine als het ammoniumgehalte in de mengmest wordt verlaagd en wel (vrijwel) in dezelfde mate. Dit betekent dat ook de ammoniakemissiereductie vanaf de roostervloer vergelijkbaar zal zijn met die vanuit de mestkelder. De pH verlaging is alleen van toepassing op de feces en de mengmest. Aangezien op de vloer de ammoniak vooral emitteert uit urineplassen en niet uit de feces, zal het pH-effect op de (rooster)vloer niet van toepassing zijn. Dit betekent dat de (relatieve) emissiereductie als gevolg van toevoeging van fermenteerbare koolhydraten aan het voer vanuit de mestkelder hoger zal zijn dan die vanaf de (rooster)vloer.

Conclusie gecombineerde effecten van voermaatregelen

In het algemeen kan gesteld worden dat er geen of weinig interactie zal optreden tussen de meeste voermaatregelen en andere emissie reducerende technieken. De effecten van deze voermaatregelen en andere maatregelen zijn daarom additief. Dit betekent dat de relatieve reductie van voermaatregelen (in %) gelijk is voor traditionele en emissiearme stallen. In absolute zin is het effect in traditionele stallen groter. Het voorgaande geldt niet helemaal voor toevoeging van fermenteerbare koolhydraten aan het voer. Deze maatregel heeft minder effect op de vloeremissie dan op de kelderemissie. Daarom zullen aanvullende maatregelen die insteken op vermindering van de ammoniakemissie vanaf de (rooster)vloer relatief effectiever zijn in combinatie met deze voermaatregel en voor aanvullende maatregelen die de kelderemissie verlagen geldt het tegenovergestelde.

Uit onderzoek (Bakker et al., 2002a; Bakker et al., 2002b) is gebleken dat de voermaatregelen ook onderling geen interactie vertonen en dus additief zijn. Bij een combinatie van verzurende componenten, bijvoorbeeld benzoëzuur en CaCl_2 , moet er echter voor worden gewaakt dat het zuur/base evenwicht van het varken niet verstoord raakt. Hiervoor wordt een ondergrens van de urine-pH aangehouden van ca. 5,5.

4 Haalbaarheid en kosten van voermaatregelen

Van een aantal perspectiefvolle voermaatregelen zijn de kosten doorgerekend. Deze kosten zijn weergegeven in Tabel 2. Bij de berekeningen is getracht de referentiegehalten zo dicht mogelijk aan te laten sluiten bij de referentiewaarden in Tabel 1. In de tabel zijn niet de kosten opgenomen van additieven die nog geen EU registratie hebben als zoötechnisch diervoeradditief.

Tabel 2 Extra voerkosten (per 100 kg voer) en jaarkosten per dierplaats en per 10% ammoniak-reductie voor verschillende voermaatregelen om de ammoniakemissie te reduceren.

Maatregel	Categorie ¹⁾	Referentie	Verandering	Eenheid	Extra kosten per 100 kg voer	Kosten / (10% NH ₃ reductie)
Verlagen eiwitgehalte, g/kg	Biggen	180	-10	g/kg voer	-€ 0,09	-€ 0,17
	GenD zeugen	135	-10		€ 0,05	€ 0,47
	Lacterende zeugen	158	-8		€ 0,26	€ 4,35
Verlagen eiwitgehalte, g/kg	Biggen	180	-20	g/kg voer	€ 0,01	€ 0,01
	GenD zeugen	135	-20		€ 0,31	€ 1,46
	Lacterende zeugen	158	-12		€ 2,58	€ 21,56
Verlagen eiwitgehalte, g/kg	Biggen	180	-30	g/kg voer	€ 0,18	€ 0,12
Toevoeging benzoëzuur (VevoVital [®]), g/kg	Biggen	0	5	g/kg voer	€ 0,76	€ 1,84
	GenD zeugen	0	5		€ 0,68	€ 8,02
	Lacterende zeugen	0	5		€ 0,74	€ 15,46
Toevoeging benzoëzuur (VevoVital [®]), g/kg	Biggen	0	10	g Ca/kg voer	€ 1,52	€ 1,84
	GenD zeugen	0	10		€ 1,36	€ 8,02
	Lacterende zeugen	0	10		€ 1,48	€ 15,46
CaCO ₃ → CaCl ₂ , g Ca/kg	Biggen	0	3	g Ca/kg voer	€ 0,91	€ 0,74
	GenD zeugen	0	3		€ 0,91	€ 3,58
	Lacterende zeugen	0	3		€ 1,95	€ 13,58
CaCO ₃ → Ca-formiaat, g Ca/kg	Biggen	0	3	g Ca/kg voer	€ 0,72	€ 2,79
	GenD zeugen	0	3		€ 0,45	€ 8,49
	Lacterende zeugen	0	3		€ 0,70	€ 23,40
Kation/anion balans, mEq/kg	Biggen	170	-100	mEq/kg voer	€ 0,60	€ 1,45
	GenD zeugen	200	-100		€ 0,46	€ 5,42
	Lacterende zeugen	200	-100		€ 0,30	€ 6,27
Fermenteerbare koolhydraten (NSP), g/kg	GenD zeugen	250	100	g/kg voer	€ 1,04	€ 8,18

¹⁾ GenD zeugen = Geste en drachtige zeugen

Uit Tabel 2 blijkt dat de voerkosten relatief gering toenemen bij verlaging van het eiwitgehalte met 8 – 10 g/kg bij alle categorieën. Bij biggen nemen de voerkosten zelfs af. Dit komt vooral doordat de kosten van synthetische aminozuren de laatste jaren zijn afgenomen, waardoor het aantrekkelijker wordt om minder ruw eiwit en meer synthetische aminozuren in het voer op te nemen. Een verlaging van het eiwitgehalte met 20 g/kg geeft bij biggen vrijwel geen en bij geste en drachtige zeugen een relatief geringe toename van de kosten. Bij biggen is zelfs een verlaging met 30 g/kg mogelijk tegen relatief geringe kosten. Bij lacterende zeugen nemen de voerkosten sterk toe bij een verlaging van het eiwitgehalte met 20 g/kg.

Toevoeging van benzoëzuur is relatief duur ten opzichte van eiwitverlaging. Hetzelfde geldt voor vervanging van CaCO_3 door CaCl_2 of door Ca-formiaat. Benzoëzuur en Ca-formiaat worden echter al vaak vanwege positieve gezondheidseffecten aan het voer toegevoegd. Na het verbod op antibioticum toevoeging aan het voer worden dit soort middelen vaak ingezet om maag-darmverstoringen te voorkomen. Van deze producten is bekend dat het de groei en de voederconversie bij groeiende varkens verbetert (Kluge et al., 2006). Uit onderzoek van Smits et al. (2012) bij vleesvarkens bleek dat vervanging van 3 g Ca in de vorm van CaCO_3 door 3 g Ca in de vorm van CaCl_2 in een eiwitarm voer geen additioneel effect had op de ammoniakemissie. In datzelfde onderzoek werd een groter effect gevonden van ruw eiwit verlaging op de ammoniakemissie, namelijk 14% reductie per 10 g/kg verlaging van het ruweiwitgehalte.

De kosten van verlaging van de kation/anion balans zijn relatief laag bij lacterende zeugen. De toevoeging van fermenteerbare koolhydraten aan voer voor guste en drachtige zeugen is relatief duur. Door verdere optimalisering van het voer zouden deze kosten misschien omlaag gebracht kunnen worden.

Uit voorgaande kan worden geconcludeerd dat het verlagen van het eiwitgehalte in het voer bij biggen en guste en drachtige zeugen de meest kosteneffectieve voermaatregelen zijn voor ammoniakreductie op zeugenbedrijven.

5 Controle en handhaafbaarheid

Dit hoofdstuk is overgenomen uit het rapport Aarnink e.a. (2010).

Eerder zijn Startnotities gemaakt voor toepassing van benzoëzuur (VevoVital®) en een verlaagd eiwitgehalte in het voer als emissie reducerende maatregelen (Levrouw et al., 2006; Wegereef et al., 2007). Deze Startnotities zijn voorgelegd aan de TAC-Rav en in 2009 akkoord bevonden als vertrekpunt voor een implementatietraject van deze afzonderlijke voermaatregelen. In de startnotities is aandacht besteed aan controle en handhavingsaspecten. In deze paragraaf wordt daarvan gebruik gemaakt. Voor de vergunningverlenende instantie is het van belang dat er controle mogelijk is op de toepassing van ammoniakemissiearme voeders. Gebruik van emissiearme voeders kan worden gecontroleerd en gehandhaafd 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 (zie paragraaf 2.3).
3. De gehalten genoemd onder 2 dienen op het etiket te worden vermeld. Afhankelijk van het emissiereducerend principe dienen minimale, maximale of een gemiddelde waarden 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 wel degelijk 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 (bijvoorbeeld vleesvarkens of gespeende biggen) worden gevoerd met de emissiearme voeders. Controle en handhaafbaarheid kan echter ook op voersilo-niveau plaats vinden. Dat betekent 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 voercodes aan een klant zijn geleverd. Door de combinatie van klantnummer en voercodes 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. 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 de Regeling Emissie Arme Vleesvarkensvoeders verzonden naar de varkenshouder.
8. De veehouder 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 en handhaving lastiger. Dit betekent echter niet dat voermaatregelen voor deze bedrijven geen optie zijn. De controle en handhaafbaarheid 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 met uitzondering van de bedrijven die niet volledig gebruik kunnen maken van deze systematiek.

6 Discussie

Het onderzoek naar de relatie tussen voermaatregelen en ammoniakemissie uit varkensstallen heeft zich zowel in Nederland als daarbuiten, tot nu toe, vooral gericht op vleesvarkens. In dit rapport zijn de ingeschatte effecten van voeraanpassingen op de ammoniakemissie bij biggen en zeugen daarom vooral geëxtrapoleerd uit het vleesvarkensonderzoek. De onderzoeken die gedaan zijn bij biggen en zeugen lijken deze extrapolaties in het algemeen te ondersteunen. Bij zeugen gaf een verlaging van het eiwitgehalte bijvoorbeeld een vergelijkbaar effect in de stikstofuitscheiding via de urine als bij vleesvarkens werd gevonden. Ook werd bij biggen en zeugen bij toevoeging van benzoëzuur aan het voer een vergelijkbare verlaging gevonden van de urine-pH als bij vleesvarkens.

Evenals bij vleesvarkens komt in dit onderzoek naar voren dat de ammoniakemissie bij biggen en zeugen belangrijk kan worden gereduceerd door een verlaging van het eiwitgehalte in het voer. Eiwitgehalten in het voer zijn in het algemeen hoger dan strikt noodzakelijk (Aarnink and Verstegen, 2007). Er worden veiligheidsmarges gehanteerd vanwege: 1) suboptimale aminozurencombinatie van het eiwit; 2) verschillen in behoefte van dieren met verschillende genetische achtergronden; 3) verschillen in behoefte vanwege verschillen in leeftijd of productiestadium; 4) variaties in de actuele aminozuregehalten in het voer. Punt 1 kan opgelost worden door toevoeging van synthetische aminozuren. Uit Tabel 2 blijkt dat dit wel hogere kosten van het voer met zich meebrengt. Punten 2 en 3 kunnen opgelost worden door de samenstelling van het voer nog beter af te stemmen op de actuele behoefte van het dier, bijvoorbeeld via meerfasen-voeders.

Verlaging van het eiwitgehalte in het voer geeft niet alleen een lagere ammoniakemissie, maar zal tevens de geuremissie beperken (Le et al., 2007b). Daarnaast geeft dit een geringer stikstofoverschot in gebieden met veel intensieve veehouderij.

Er zijn een aantal maatregelen beschreven in dit rapport die gericht zijn op het verlagen van de pH van de urine: 1) toevoeging benzoëzuur en Na-benzoaat; 2) vervanging CaCO_3 door CaCl_2 , CaSO_4 , Ca-benzoaat of Ca-formiaat; 3) verlaging kation/anion balans in het voer. Deze maatregelen moeten in samenhang bekeken worden, aangezien ze allen invloed hebben op het zuur/base evenwicht in het dier. Teveel verzuring van de urine (pH onder de ca. 5,5) kan ongewenste neveneffecten geven, zoals botontkalking. Daarnaast kan het de voeropname en de productie beïnvloeden. Deze maatregelen beïnvloeden elkaar ook in relatie tot de ammoniakemissie. Het effect van toevoeging van benzoëzuur zou bijvoorbeeld (gedeeltelijk) teniet kunnen worden gedaan door een verhoging van de kation/anion balans in het voer. Het zou daarom goed zijn als deze effecten in samenhang modelmatig worden doorgerekend, waardoor het effect van het totale voer op de ammoniakemissie kan worden ingeschat. De kennis is op dit moment aanwezig om zo'n rekenmodel te ontwikkelen. Dit rekenmodel zal echter nog wel op onderdelen moeten worden gevalideerd. In zo'n rekenmodel kunnen ook grenswaarden worden opgenomen, bijvoorbeeld ten aanzien van de minimum pH van de urine, om te voorkomen dat er ongewenste neveneffecten ontstaan. Naast het feit dat er verschillende factoren zijn die de pH van de urine beïnvloeden en daarmee de pH van de mengmest, wordt de pH van de mengmest tevens beïnvloed door de processen die in de mestkelder plaats vinden. Door vergisting van organische componenten in de mengmest ontstaan vluchtige vetzuren die de pH van de mengmest verlagen. Deze vluchtige vetzuren worden echter ook weer omgezet, naar methaan en CO_2 . Afhankelijk van de snelheid waarbinnen deze processen verlopen, wordt de pH van de mengmest beïnvloed. Dit kan invloed hebben op de mate waarin voerfactoren de pH en de ammoniakemissie van de mengmest verlagen.

Verhoging van het aandeel fermenteerbare koolhydraten (NSP's) aan het voer biedt vooral perspectief voor guste en drachtige zeugen. Door deze toevoeging krijgen deze dieren een meer verzadigd gevoel, wat het welzijn kan verbeteren (Van der Peet-Schwering, 2002). De laatste jaren is het NSP-gehalte van voeders voor guste en drachtige zeugen al flink verhoogd. Volgens de welzijnsregelgeving moeten vezelrijke voeders ('welzijnsvoeders') voor guste en drachtige zeugen een adequate hoeveelheid ruwe celstof (RC) bevatten, zonder dat hierbij getallen worden genoemd. Een aantal jaren geleden werd hier wel een getal voor genoemd en was het minimum 14% RC of 340 g/kg NSP. Een nadeel van hogere NSP-gehalten in het voer is dat de emissie van methaan hierdoor zal toenemen.

De extra kosten van het voer voor de verschillende opties voor reductie van de ammoniakemissie zijn gebaseerd op de huidige voerprijzen en op de huidige eisen die aan het voer worden gesteld. Deze prijzen en eisen kunnen in het verloop van de tijd veranderen, waardoor het kostenplaatje behoorlijk kan veranderen. De kosten voor verlaging van het eiwitgehalte hangen vooral samen met de extra kosten voor toevoeging van synthetische aminozuren. Als deze aminozuren goedkoper worden zullen de extra kosten van eiwitverlaging ook afnemen. De extra kosten voor voeders met een hoger gehalte aan NSP's hangen vooral samen met de andere eisen die gesteld worden. Als deze andere eisen minder stringent zouden worden gesteld, dan is de verwachting dat deze voerkosten zelfs zouden kunnen afnemen. Een belangrijke eis waar echter niet aan getornd mag worden is het gehalte aan limiterende aminozuren. Voeders met een hoger NSP-gehalte vragen in het algemeen meer toevoeging van synthetische aminozuren. De kosten per 10% ammoniakreductie zijn relatief hoog voor de additieven benzoëzuur en Ca-formiaat. Het kan toch aantrekkelijk zijn om deze producten te gebruiken vanwege het feit dat deze producten de diergezondheid, met name de darmgezondheid, kunnen verbeteren. Dit is de reden dat deze producten al vaak worden toegepast, vooral in biggenvoeders.

7 Conclusies

Op basis van dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat de volgende voermaatregelen perspectief bieden om op zeugenbedrijven de ammoniakemissie te reduceren:

- Verlaging van het eiwitgehalte in biggenvoer met 10 tot 30 g/kg en in voer voor guste en drachtige zeugen met 10 tot 20 g/kg, onder aanvulling van synthetische aminozuren.
- Toevoeging van 5 tot 10 g/kg benzoëzuur aan voeders voor biggen, guste en drachtige zeugen en lacterende zeugen. Op dit moment heeft alleen toevoeging van 5 g/kg benzoëzuur aan biggenvoerders een EU registratie als zoötechnisch diervoeradditief.
- Vervanging van krijt (CaCO_3) in het voer door Ca-benzoaat. Echter dit toevoegmiddel heeft op dit moment nog geen EU registratie als zoötechnisch diervoeradditief.
- Maatregelen die de pH van de urine verlagen moeten in samenhang met elkaar worden bekeken, aangezien teveel verzuring van de urine ongewenste neveneffecten, waaronder botontkalking en verlaging van de voeropname kan hebben.
- Verhoging van het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten kan vooral perspectief bieden voor guste en drachtige zeugen. Het voordeel van deze verhoging is een hogere verzadiging van de zeugen, terwijl het nadeel is een hogere methaanemissie. Via een goede optimalisering van het voer zullen de extra kosten moeten worden beperkt.

Daarnaast kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Er is in het algemeen geen of weinig interactie tussen effecten van voermaatregelen en andere emissie reducerende maatregelen. Effecten zijn daarom in het algemeen additief. Dit betekent dat de relatieve reductie van voermaatregelen (in %) gelijk is voor traditionele en emissiearme stallen.
- Effecten van voermaatregelen op de ammoniakemissie vertonen onderling geen of weinig interactie. Effecten zijn daarom in het algemeen additief.
- De controle en handhaafbaarheid van voermaatregelen hoeven geen probleem te vormen. Voermaatregelen kunnen op de meeste bedrijven met (relatief) geringe inspanningen (via geautomatiseerde controle van datastromen) worden gecontroleerd.

8 Aanbevelingen

Op basis van dit onderzoek en eerder uitgevoerd onderzoek bij vleesvarkens (Aarnink et al., 2010) wordt aanbevolen om de effecten van voeders op het ammoniumgehalte en de pH van urine en mengmest modelmatig in te schatten. Dit is nodig aangezien er, zoals ook uit dit rapport blijkt, veel voerfactoren zijn die deze parameters beïnvloeden. Daardoor is het mogelijk dat effecten van bepaalde maatregelen teniet worden gedaan of juist worden versterkt door andere veranderingen in het voer. Op basis van deze berekeningen kan vervolgens ingeschat worden wat het effect is van deze voeders op de ammoniakemissie. Op deze manier zou voor elk voeder een inschatting gemaakt kunnen worden van de potentiële ammoniakemissie uit varkensstallen. Dit model zal op onderdelen moeten worden gevalideerd.

Literatuur

- Aarnink, A. J. A., M. Cambra-López, H. T. L. Lai, and N. W. M. Ogink. 2011. Deeltjesgrootteverdeling en bronnen van stof in stallen. Wageningen UR Livestock Research. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Aarnink, A. J. A., J. M. G. Hol, and 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., M. C. J. Smits, and I. Vermeij. 2010. Reductie van ammoniakemissie op vleesvarkensbedrijven via gecombineerde maatregelen. Rapport 366. Lelystad: Wageningen UR Livestock Science.
- Aarnink, A. J. A., and M. W. A. Verstegen. 2007. Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Sciences* 109:194-203.
- Angelidaki, I., L. Ellegaard, and B. K. Ahring. 1993. A Mathematical-Model for Dynamic Simulation of Anaerobic-Digestion of Complex Substrates - Focusing on Ammonia Inhibition. *Biotechnology and Bioengineering* 42(2):159-166.
- Bakker, G. C. M., J. G. M. Bakker, R. A. Dekker, R. Jongbloed, H. Everts, J. Van der Meulen, S. C. Ying, and N. P. Lenis. 1996. The quantitative relationship between absorption of nitrogen and starch from the hindgut of pigs. *J. Anim. Sci.* 74(Suppl. 1):188.
- Bakker, G. C. M., and R. A. Dekker. 1998. Effect of source and amount of carbohydrate on the form in which N is excreted by the pig. *Abstract ASAS, July 1998*.
- Bakker, G. C. M., R. A. Dekker, R. Jongbloed, and A. W. Jongbloed. 1998. Non-starch polysaccharides in pig feeding. *The Veterinary Quarterly* 20(3):S59-S64.
- Bakker, G. C. M., J. M. G. Hol, and M. C. J. Smits. 2002a. De additiviteit van voedingsmaatregelen om de ammoniakemissie te verlagen uit varkensstallen. Proef 1. Balansmetingen en in vitro ammoniakemissie. ID TNO Diervoeding. Lelystad.
- Bakker, G. C. M., J. M. G. Hol, M. C. J. Smits, and A. W. Jongbloed. 2002b. De additiviteit van voedingsmaatregelen om de ammoniakemissie te verlagen uit varkensstallen. 2. Stalmetingen en in vitro ammoniakemissie bij drie rantsoenen. Animal Sciences Group, Wageningen UR Rapport 03/0000003. Lelystad.
- Belmonte, M., C. F. Hsieh, C. Figueroa, J. L. Campos, and G. Vidal. 2011. Effect of free ammonia nitrogen on the methanogenic activity of swine wastewater. *Electronic Journal of Biotechnology* 14(3).
- Bikker, P., A. Dirkzwager, J. Fledderus, P. Trevisi, I. le Huaerou-Luron, J. P. Lalles, and A. Awati. 2007. Dietary protein and fermentable carbohydrates contents influence growth performance and intestinal characteristics in newly weaned pigs. *Livestock Science* 108(1-3):194-197.
- Bosi, P., G. Sarli, L. Casini, S. De Filippi, P. Trevisi, M. Mazzoni, and G. Meriardi. 2007. The influence of fat protection of calcium formate on growth and intestinal defence in Escherichia coli K88-challenged weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology* 139(3-4):170-185.
- Canh, T. T., A. J. A. Aarnink, Z. Mroz, A. W. Jongbloed, J. W. Schrama, and M. W. A. Verstegen. 1998a. Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilisation from slurry. *Livest. Prod. Sci.* 56: 1-13.
- Canh, T. T., A. J. A. Aarnink, J. B. Schutte, A. L. Sutton, D. J. Langhout, M. W. A. Verstegen, and J. W. Schrama. 1998b. Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 56: 181-191.
- Canh, T. T., J. W. Schrama, A. J. A. Aarnink, M. W. A. Verstegen, C. E. v. t. Klooster, and M. J. W. Heetkamp. 1998c. Effect of dietary fermentable fibre from pressed sugar-beet pulp silage on ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Animal Science* 67: 583-590.
- Canh, T. T., A. L. Sutton, A. J. A. Aarnink, M. W. A. Verstegen, J. W. Schrama, and G. C. M. Bakker. 1998d. Dietary carbohydrates alter the faecal composition and pH and ammonia emission from slurry of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 1887-1895.
- Canh, T. T., M. W. A. Verstegen, A. J. A. Aarnink, and J. W. Schrama. 1997. Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. *J. Anim. Sci.* 75: 700-706.
- Colina, J. J., A. J. Lewis, P. S. Miller, and R. L. Fischer. 2001. Dietary manipulation to reduce aerial ammonia concentrations in nursery pig facilities. *Journal of Animal Science* 79(12):3096-3103.

- DeRouchey, J. M., J. D. Hancock, R. H. Hines, K. R. Cummings, D. J. Lee, C. A. Maloney, D. W. Dean, J. S. Park, and H. Cao. 2003. Effects of dietary electrolyte balance on the chemistry of blood and urine in lactating sows and sow litter performance. *Journal of Animal Science* 81(12):3067-3074.
- Dersjant-Li, Y., H. Schulze, J. W. Schrama, J. A. Verreth, and M. W. A. Verstegen. 2001. Feed intake, growth, digestibility of dry matter and nitrogen in young pigs as affected by dietary cation-anion difference and supplementation of xylanase. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition-Zeitschrift Fur Tierphysiologie Tierernahrung Und Futtermittelkunde* 85(3-4):101-109.
- Dove, C. R., and K. D. Haydon. 1994. The Effect of Various Diet Nutrient Densities and Electrolyte Balances on Sow and Litter Performance during 2 Seasons of the Year. *Journal of Animal Science* 72(5):1101-1106.
- Elzing, A., W. Kroodsmas, R. Scholtens, and G. H. Uenk. 1992. Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een rundveestal: theoretische beschouwingen. *IMAG-DLO rapport 92-3, Wageningen*, 25 pp.
- Elzing, A., and D. Swierstra. 1993. Ammonia emission measurements in a model system of a pig house. *Proceedings Congress on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences, Wageningen 8-11 june*, p. 280-285.
- Gajewczyk, P., D. Korniewicz, R. Kolacz, Z. Dobrzanski, and A. Korniewicz. 2010. Response of pregnant and lactating sows to reduced protein content in complete compound feed. *Polish Journal of Veterinary Sciences* 13(4):755-763.
- Hansen, K. H., I. Angelidaki, and B. K. Ahring. 1998. Anaerobic digestion of swine manure: Inhibition by ammonia. *Water Research* 32(1):5-12.
- Hayes, E. T., A. B. G. Leek, T. P. Curran, V. A. Dodd, O. T. Carton, V. E. Beattie, and J. V. O'Doherty. 2004. The influence of diet crude protein level on odour and ammonia emissions from finishing pig houses. *Bioresource Technology* 91(3):309-315.
- Jongbloed, A. W. 2001. Hebben voermaatregelen ter verlaging van de ammoniakemissie een negatief effect op de vertering en benutting van nutriënten? [Do feeding measures for lowering ammonia emission have a negative effect on the digestibility and utilisation of nutrients?]. In *Veevoeding en Ammoniakemissie uit Varkensstallen. Samenvattingen van de themamiddag, no. 2174*. M. C. B. E. A.W. Jongbloed ed. Lelystad
- Kay, R. M., and P. A. Lee. 1997. Ammonia emission from pig buildings and characteristics of slurry produced by pigs offered low crude protein diets. In: *J.A.M. Voermans and G.J. Monteny, Proceedings of the International Symposium on Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities*, p. 253-260 Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen.
- Kirchgessner, M., M. Kreuzer, D. A. Roth-Maier, F. X. Roth, and H. L. Muller. 1991. Bestimmungsfaktoren der Gullecharakteristik beim Schwein. Einfluss von Futterungsintensität und den Anteilen an unverdaulichen sowie an bakteriell fermentierbaren Substanzen (BFS) im Futter. *Agribiol. Res.* 44 (4), p. 325-344.
- Kluge, H., J. Broz, and K. Eder. 2006. Effect of benzoic acid on growth performance, nutrient digestibility, nitrogen balance, gastrointestinal microflora and parameters of microbial metabolism in piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 90(7-8):316-324.
- Kluge, H., J. Broz, and K. Eder. 2010. Effects of dietary benzoic acid on urinary pH and nutrient digestibility in lactating sows. *Livestock Science* 134(1-3):119-121.
- Latimier, P., and J. Y. Dourmad. 1993. Effect of three protein feeding strategies, for growing-finishing pigs, on growth performance and nitrogen output in the slurry and in the air. *Proceedings Congress on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences, Wageningen 8-11 june*, p. 242-246.
- 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. 2007a. Effects of crystalline amino acid supplementation to the diet on odor from pig manure. *Journal of Animal Science* 85:791-801.
- Le, D. P., A. J. A. Aarnink, A. W. Jongbloed, C. M. C. Van der Peet-Schwering, N. W. M. Ogink, and M. W. A. Verstegen. 2007b. Effects of dietary crude protein level on odour from pig manure. *Animal* 1:734-744.
- Levrouw, L., A. Wegereef, and A. Aarnink. 2006. Startnotitie voor opname van VevoVital in de Regeling ammoniak en veehouderij (RAV). Animal Sciences Group. Lelystad.
- Moeser, A. J., and A. T. G. Van Kempen. 2002. Dietary fibre level and enzyme inclusion affect nutrient digestibility and excreta characteristics in grower pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82:1606-1613.

- Murphy, D. P., J. V. O'Doherty, T. M. Boland, C. J. O'Shea, J. J. Callan, K. M. Pierce, and M. B. Lynch. 2011. The effect of benzoic acid concentration on nitrogen metabolism, manure ammonia and odour emissions in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 163(2-4):194-199.
- Norgaard, J. V., J. A. Fernandez, J. Eriksen, O. H. Olsen, D. Carlson, and H. D. Poulsen. 2010a. Urine acidification and mineral metabolism in growing pigs fed diets supplemented with dietary methionine and benzoic acid. *Livestock Science* 134(1-3):113-115.
- Norgaard, J. V., J. A. Fernandez, K. U. Sorensen, S. Wamberg, H. D. Poulsen, and N. B. Kristensen. 2010b. 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., J. M. G. Hol, J. Mosquera, and H. M. Vermeer. 2010. Bouwstenen van het meetprotocol NH₃-emissiemetingen in de veehouderij. Animal Sciences Group. Wageningen.
- Patience, J. F., R. E. Austic, and R. D. Boyd. 1987. Effect of dietary electrolyte balance on growth and acid-base status in swine. *J. Anim. Sci.* 64: 457.
- Patience, J. F., and M. S. Wolynetz. 1990. Influence of Dietary Undetermined Anion on Acid-Base Status and Performance in Pigs. *Journal of Nutrition* 120(6):579-587.
- Roth, F. X., and M. Kirchgeßner. 1998. Organic acids as feed additives for young pigs: Nutritional and gastrointestinal effects. *Journal of Animal and Feed Sciences* 7:25-33.
- Sanchez, E., R. Borja, P. Weiland, L. Travieso, and A. Martin. 2000. Effect of temperature and pH on the kinetics of methane production, organic nitrogen and phosphorus removal in the batch anaerobic digestion process of cattle manure. *Bioprocess Engineering* 22(3):247-252.
- Smits, M. C. J., A. Hol, C. M. C. Van der Peet-Schwering, and A. J. A. Aarnink. 2012. Invloed eiwitgehalte en toevoeging calciumchloride in het voer op de ammoniakemissie uit vleesvarkensstallen. Wageningen UR Livestock Research. W. U. L. Research.
- Spoelstra, S. F. 1979. Volatile fatty acids in anaerobically stored piggery wastes. *Neth. J. Agric. Sci.* 27: 60-66.
- Van der Peet-Schwering, C. M. C. 2002. Ruwecelstofrijke voeders voor zeugen: effect op reproductie en gedrag. Praktijkonderzoek Varkenshouderij. Rosmalen.
- Van der Peet-Schwering, C. M. C., M. M. A. H. H. Smolders, and G. P. Binnendijk. 2005. Fasenvoeding bij drachtige zeugen: effect op reproductie en mineralenuitscheiding = Phasefeeding for gestating sows: effects on performance and mineral excretion. Animal Sciences Group. Lelystad.
- Veldkamp, T., L. Star, J. D. Van der Klis, and J. Van Harn. 2011. Reductie van ammoniakemissie op pluimveebedrijven via voeding. Lelystad: Wageningen UR Livestock Science.
- Wegereef, A., J. Baan, A. Aarnink, and C. Peet-Schwering. 2007. Startnotitie voor opname van het eiwitgehalte in varkensvoer in de Regeling ammoniak en veehouderij (RAV). Animal Sciences Group. Lelystad.



Wageningen UR Livestock Research

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

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl