

# Animal Sciences Group

Kennispartner voor de toekomst



process for progress

Rapport 135

Analyse ammoniakemissieniveaus van  
praktijkbedrijven in de varkenshouderij  
(1990-2003)

Mei 2008



ANIMAL SCIENCES GROUP  
WAGENINGEN UR

Dit project werd uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV)

## Colofon

### Uitgever

Animal Sciences Group van Wageningen UR  
Postbus 65, 8200 AB Lelystad  
Telefoon 0320 - 238238  
Fax 0320 - 238050  
E-mail [Info.veehouderij.ASG@wur.nl](mailto:Info.veehouderij.ASG@wur.nl)  
Internet <http://www.asg.wur.nl>

### Redactie

Communication Services

### Aansprakelijkheid

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

### Liability

Animal Sciences Group does not accept any liability for damages, if any, arising from the use of the results of this study or the application of the recommendations.

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 main objectives of this study are: to gain insight in the variance structure of ammonia emission for the four main pig categories by analyzing available datasets (1990- 2003) measured in the Netherlands, to estimate the accuracy of the current measurement protocol of ammonia emission and to gain insight in the effects of modifying protocols on their accuracy. Results from the statistical analysis were used to test the accuracy of alternative measurement protocols based on different sampling strategies. To minimize the measurement error associated with ammonia emission measurements, it is proposed to increase the number of locations involved in the measurement scheme.

**Keywords:** ammonia emission, animal housing, sources of variance, measurement protocol, clustering, emission reduction, Rav

## Referaat

ISSN 1570 - 8616

**Auteurs:** J. Mosquera, J.M.G. Hol, N.W.M. Ogink

**Titel:** Analyse ammoniakemissieniveaus van praktijkbedrijven in de varkenshouderij (1990-2003)  
Rapport 135

## Samenvatting

Doel van deze studie is inzicht te verkrijgen in de variantiestructuur van ammoniak emissies in vier varkenscategorieën door statistische analyse van beschikbare datasets van ammoniakmetingen (1990 – 2003) in Nederland. Hiermee kan de nauwkeurigheid van het huidige meetprotocol voor ammoniakemissie uit huisvestingssystemen worden ingeschat, evenals de effecten van wijzigingen op de eindnauwkeurigheid. Uit de analyse blijkt dat het vergroten van het aantal locatieherhalingen leidt tot een sterke verbetering van de eindnauwkeurigheid van het meetprotocol.

**Trefwoorden:** ammoniakemissie, variantieanalyse, meetprotocol, varkenshouderij



Rapport 135

# Analyse ammoniakemissieniveaus van praktijkbedrijven in de varkenshouderij (1990-2003)

J. Mosquera

J.M.G. Hol

N.W.M. Ogink

Mei 2008

## Samenvatting

De emissiefactoren die in de Rav zijn vastgesteld voor alle gangbare huisvestingssystemen in de voorkomende diercategorieën zijn hoofdzakelijk gebaseerd op metingen volgens een specifiek protocol gebaseerd op de Beoordelingsrichtlijn Groen Label uit 1996. Uit geuremissiestudies blijkt dat er grote verschillen tussen bedrijven met hetzelfde huisvestingssysteem kunnen optreden, en blijkt dat dit mogelijk ook het geval is voor ammoniakemissies. Adequate informatie hierover is belangrijk voor de nauwkeurigheid van het huidige ammoniakmeetprotocol en de wijze waarop deze verbeterd kan worden. Voor het verkrijgen van een goed inzicht in deze materie is een grondige statistische analyse gewenst van beschikbare ammoniakemissie gegevens. De doelen van deze studie zijn:

- Analyse van beschikbare meetreeksen voor vier hoofdcategorieën in de varkenshouderij (vleesvarkens, dragende zeugen, biggen en kraamzeugen) met medeneming van zoveel mogelijk huisvestingssystemen, gericht op het vaststellen van de variatiestructuur in deze reeksen. Hiervoor worden de variantiecomponenten geanalyseerd die de nauwkeurigheid van emissiefactoren volgens het huidige meetprotocol bepalen.
- Aan de hand van de conclusies over de nauwkeurigheden van de emissiefactoren in de Rav-lijst, verkennen welke consequenties daaruit voortvloeien ten aanzien van de huidige meetprotocollen en de indeling van de stalsystemen in de Rav.

Om de bestaande datasets te analyseren werd gebruik gemaakt van datasets uit regulier onderzoek voor de Rav (gebaseerd op de Beoordelingsrichtlijn Groen Label 1996) en datasets met ammoniakgegevens uit het meerjarige Pythia-geuronderzoek. Daarbij is een onderverdeling gemaakt naar diercategorieën (vleesvarkens, biggen, kraamzeugen en dragende zeugen) en naar huisvestingssystemen per diercategorie (conventioneel, koeldek, spoelgoten en beperkt emitterend kelderoppervlak). De analyse van de datasets bestond uit het berekenen van de emissieniveaus, emissiepatronen en een statistische analyse. Hierbij werd gebruik gemaakt van een variantiecomponenten model waarbij 3 lagen worden onderscheiden, te weten: tussen-bedrijfvariatie, binnen-bedrijfvariatie en meetmethode-variatie. Tenslotte zijn simulaties uitgevoerd om de mogelijkheden voor aanpassing van het huidige meetprotocol te bestuderen.

Uit de analyse blijkt dat alle datasets per diergroep een uniform verloop laten zien. Afhankelijk van de productievorm, nemen de emissies lineair toe of zijn deze stabiel. De tussen- en binnen-bedrijfsvariëaties (uitgedrukt als procentuele standaarddeviaties) fluctueren binnen bandbreedtes van respectievelijk 27-66% en 23-51%. Geconcludeerd wordt dat er een aanzienlijke variatie in ammoniakemissie optreedt binnen een en hetzelfde huisvestingssysteem zowel tussen bedrijven als in de tijd binnen een bedrijf.

In geen van de onderzochte diercategorieën kon een seizoenseffect worden vastgesteld in de vorm van een systematisch patroon door het jaar. In plaats van systematische seizoenspatronen is er wel sprake van een aanzienlijke binnen-bedrijfvariatie. Hierin komen allerlei korte en lange termijn klimaatseffecten tot uiting, evenals managementfactoren die de emissie beïnvloeden via bijvoorbeeld stalhygiëne, voeding en stalklimaatbeheersing.

Een meting, uitgevoerd volgens het huidige meetprotocol, heeft een standaarddeviatie van de bijbehorende meetfout die over de diercategorieën heen varieert tussen 27 en 66%. Een meting met als resultaat 2,5 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar levert bij een tussenstal-variatie van 30% een betrouwbaarheidsinterval op van 1,4 - 4,6 kg NH<sub>3</sub>, d.w.z. dat de werkelijke waarde met 95% kans in dit interval ligt. Voor vleesvarkens blijkt dat de onderzochte emissiearme hoofdprincipes allen met 90% betrouwbaarheid te onderscheiden waren van conventionele stalsystemen. De emissiearme stalsystemen zijn echter onderling niet van elkaar te onderscheiden (bij 90% betrouwbaarheid). Vergelijkbare resultaten zijn ook voor de andere diercategorieën gevonden.

De huidige analyse geeft tal van aangrijpingspunten voor het verbeteren van de huidige meetprotocollen. In deze studie is een gevoeligheidsanalyse van een meetprotocol voor huisvestingssystemen uitgevoerd, gebaseerd op de uitkomsten van de statistische analyse van de datasets. Uit deze gevoeligheidsanalyse blijkt dat het vergroten van het aantal locatieherhalingen leidt tot een sterke verbetering van de eindnauwkeurigheid. Binnen een locatie kan met veel minder inspanningen volstaan worden dan in het protocol uit 1996 wordt voorgeschreven, zonder de eindnauwkeurigheid substantieel nadelig te beïnvloeden.

## Summary

The Dutch government uses ammonia emission factors, which are determined according to standardized measurement protocols, to assign year-averaged ammonia emissions levels to specific animal housing systems and animal categories. This protocol relies on intensive measurements at a single location, and therefore provides a large amount of data that can be used to study the factors controlling the ammonia emission processes. However, the costs of these measurements are usually large. In addition, this approach does not take into account the possible importance of farm management, which may vary between different farm locations with the same housing system. Knowledge on the size of variations in ammonia emissions between and within farms, equipped with the same housing system, provides important information for estimating accuracies of current measurement protocols and elements to improve such protocols. The main objectives of this study are: 1) to gain insight in the variance structure of ammonia emission for the four main pig categories by analyzing all available datasets measured in the Netherlands, 2) to estimate the accuracy of the current measurement protocol and to gain insight in the effects of modifying protocols on their accuracy.

To deal with these questions, a statistical analysis was performed aiming to quantify the different sources of variation associated with the emission measurements and to assess their importance in the design of efficient measurement strategies. This analysis was based on data collected from measurements performed in the last few years at different locations for various animal housing systems for pigs. The variation between farms appears to be an important source of variance, with values ranging from 27 to 66%. The variation within a farm showed lower values, ranging from 23 to 51%. In order to determine whether different housing systems with the same (or different) emission-reduction principle could be differentiated, we performed a paired one-tailed statistical t-test. The results of this analysis show that, in general, emission-reduction principles could be (significantly) differentiated from the conventional system. However, the differences between different emission-reduction principles were not always significant. This suggests the possibility of simplifying the current regulatory list of housing systems (Rav-list), which includes all housing systems, by grouping those systems with the same emission-reduction principle.

Results from the statistical analysis were used to test the accuracy of alternative measurement protocols based on different sampling strategies. In order to minimize the measurement error associated with ammonia emission measurements, it is proposed to increase the number of locations involved in the measurement scheme. In such an approach only a limited number of measurement days per location is required, selected at random in time intervals that are equally distributed over the whole measurement period.

# Inhoudsopgave

## Samenvatting

## Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding en doelstellingen</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Materiaal en methode</b> .....	<b>4</b>
2.1	Dataset opbouw .....	4
2.1.1	Diercategorieën .....	4
2.2	Huisvestingssystemen .....	5
2.3	Verwerking en analyse van de data .....	7
2.3.1	Berekeningsmethode voor emissieniveaus (mediaan) .....	7
2.3.2	Emissiepatronen .....	7
2.3.3	Statistische analyse .....	7
<b>3</b>	<b>Vleesvarkens</b> .....	<b>11</b>
3.1	Emissiepatronen .....	11
3.2	Variatiestructuur bij emissiemetingen .....	13
3.3	Emissieniveaus .....	13
3.4	Effecten aanpassing meetprotocol op nauwkeurigheid .....	15
3.5	Conclusies .....	17
<b>4</b>	<b>Dragende zeugen</b> .....	<b>19</b>
4.1	Emissiepatronen .....	19
4.2	Variatiestructuur bij emissiemetingen .....	20
4.3	Emissieniveaus .....	21
4.4	Effecten aanpassing meetprotocol op nauwkeurigheid .....	22
4.5	Conclusies .....	23
<b>5</b>	<b>Biggen</b> .....	<b>25</b>
5.1	Emissiepatronen .....	25
5.2	Variatiestructuur bij emissiemetingen .....	26
5.3	Emissieniveaus .....	27
5.4	Effecten aanpassing meetprotocol op nauwkeurigheid .....	28
5.5	Conclusies .....	29
<b>6</b>	<b>Kraamzeugen</b> .....	<b>31</b>
6.1	Emissiepatronen .....	31
6.2	Variatiestructuur bij emissiemetingen .....	32
6.3	Emissieniveaus .....	33
6.4	Effecten aanpassing meetprotocol op nauwkeurigheid .....	34
6.5	Conclusies .....	35
<b>7</b>	<b>Algemene conclusies en verbetervoorstellen</b> .....	<b>37</b>
7.1	Variatiestructuur en nauwkeurigheid emissiefactoren .....	37
7.2	Aanpassing van meetprotocollen en de effecten op de meetnauwkeurigheid .....	38
7.3	Nauwkeurigheid van emissiefactoren en indeling van stalsystemen .....	39

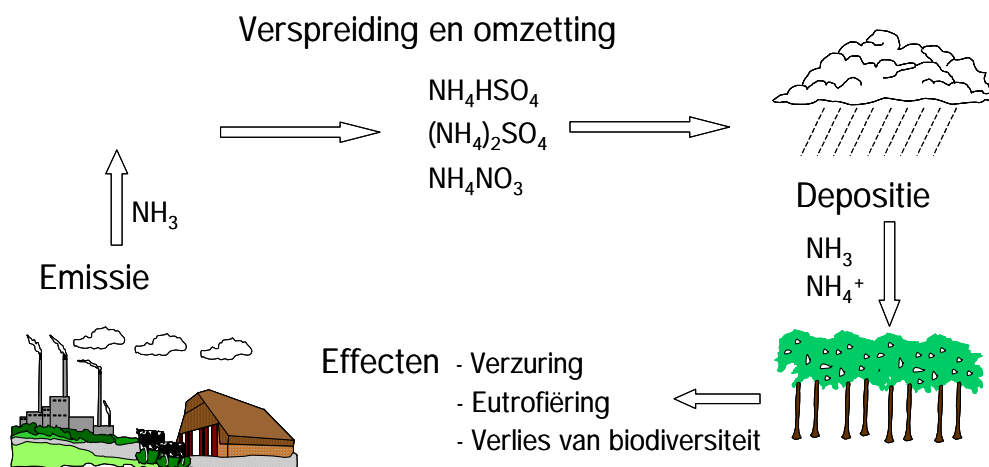
<b>Literatuur</b> .....	<b>41</b>
<b>Bijlagen</b> .....	<b>42</b>
Bijlage A Rav codes uitgave mei 2002 (VROM, 2002) .....	42
Bijlage B Overzicht stalsystemen per diercategorie .....	44

# 1 Inleiding en doelstellingen

## Achtergrond

Ammoniak kan vrijkomen uit een groot aantal verschillende bronnen, maar de landbouw is verreweg de belangrijkste bron van ammoniakemissies in Nederland. Eenmaal in de lucht gebracht, kan ammoniak zuren zoals salpeterzuur en zwavelzuur neutraliseren (figuur 1), waarbij ammoniumdeeltjes of aërosolen worden gevormd (Allen *et al.*, 1988; Erisman *et al.*, 1988). Ammoniak en ammonium kunnen uit de atmosfeer gehaald worden door droge en natte depositie. Dit leidt tot een aantal milieuproblemen, zoals eutrofiëring en verzuring van natuurgebieden, vervuiling van grond- en oppervlaktewateren, of verlies van biodiversiteit van ecosystemen (van Dam *et al.*, 1986; Binkley en Richter, 1987; Heil en Bruggink, 1987; van Breemen en van Dijk, 1988; Schulze *et al.*, 1989; Heij en Schneider, 1991; Bobbink *et al.*, 1992). Omdat de verspreiding- en depositieprocessen moeilijk te beïnvloeden zijn, is vermindering van de ammoniakemissie noodzakelijk om de schadelijke effecten tegen te gaan.

**Figuur 1** Ammoniak kringloop (overzicht)



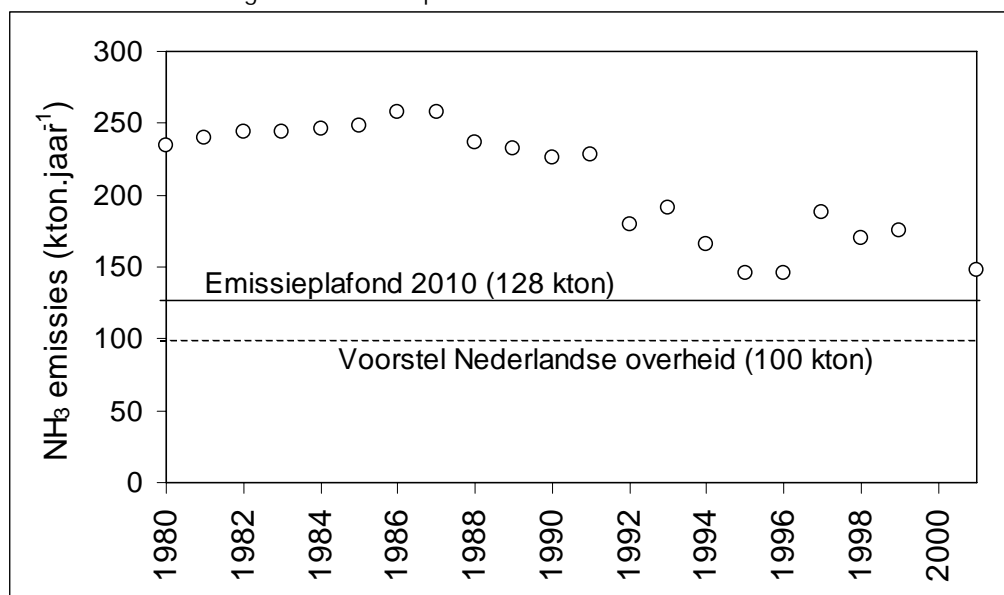
Om de ammoniakemissie in Nederland te reduceren zijn verschillende maatregelen ingezet, zoals:

- 1990: mesttoediening dierlijke mest alleen toegestaan in het groeiseizoen (feb-sep) en verplichting gebruik emissiearme mesttoedieningstechnieken (Besluit gebruik dierlijke meststoffen);
- 1992: afdekken mestsilo's (Besluit mestbassins milieubeheer);
- 1993: vrijwillig invoeren van emissiearme stallen binnen het Groen Label kader;
- 2002: Wet ammoniak en veehouderij voor regulering ammoniakemissie nabij kwetsbare natuurgebieden in de ecologische hoofdstructuur;
- 2002: emissiearme huisvestingsystemen verplicht bij nieuwbouw en uitbreiding van stallen in de varkens- en pluimveehouderij (Alara/BBT);
- 2007-2013 : toepassing van emissiearme technieken verplicht voor bestaande stallen in de varkens- en pluimveehouderij (BBT/AMvB huisvesting).

Met behulp van onder andere de bovengenoemde maatregelen is de ammoniakemissie in Nederland afgenomen van ca. 234 kton in 1980 (referentiejaar voor Nederland), tot ca. 148 kton in 2001 (zie figuur 2). De EU heeft voor Nederland een ammoniakemissieplafond van 128 kton voor het jaar 2010 vastgesteld (EU, 2001). Om natuurgebieden te beschermen heeft de Nederlandse overheid een ammoniakemissieplafond van 100 kton (voor 2010) voorgesteld (VROM, 2001).



**Figuur 2** Verloop van de ammoniakemissie in Nederland tussen de jaren 1980-2001, en het door de EU voor 2010 vastgestelde emissieplafond



In Nederland is naar schatting 94% van de ammoniakemissies afkomstig uit de landbouw (RIVM en CBS, 2001), met emissies uit stallen en mesttoediening als belangrijkste bronnen (tabel 1).

**Tabel 1** Verdeling van de ammoniakemissie (procenten) uit de verschillende bronnen in de landbouw voor het jaar 2000 in Nederland (Sliggers, 2001)

Bronnen	% van totale emissie (landbouw)
Stallen	46
Mesttoediening	41
Weide	9
Mestopslag buiten de stal	3

Gezien de relatief grote omvang van stalemissies speelt de invoering van emissiearme stalsystemen een belangrijke rol in de terugdringing van de ammoniakemissie uit de landbouw. Hiertoe is op grond van de Wet milieubeheer de zogenoemde AMvB regelgeving (Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij; VROM, 2005) ontwikkeld. De AMvB huisvesting stelt beperkingen aan de emissie uitstoot per stalsysteem. Verder zijn in de uitvoeringsregeling van de Wet ammoniak en veehouderij, de zogenoemde Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) de emissiefactoren per stalsysteem vastgelegd. In de Rav staan de emissiefactoren per diercategorie voor verschillende huisvestingssystemen genoemd (de meest recente versie van de Rav kan via de Infomil-website worden geraadpleegd).

### Emissiefactoren stalsystemen

De emissiefactoren in de Rav zijn vastgesteld voor alle gangbare huisvestingssystemen in de voorkomende diercategorieën en zijn gebaseerd op metingen aan de systemen volgens een specifiek protocol (Beoordelingsrichtlijn Groen Label, 1996). Het protocol beschrijft hoe d.m.v. een meting in de praktijk, aan een stal met het betreffende huisvestingssysteem, de emissiefactor wordt bepaald. In de loop der jaren is op deze wijze een uitgebreide en gedetailleerde Rav-lijst met emissiefactoren opgesteld die op geregelde tijdstippen wordt herzien en aangevuld met factoren voor nieuw ontwikkelde huisvestingssystemen. De huidige emissiefactoren zijn gebaseerd op lange continue meetreeksen aan één stallocatie. In de periode 1996 tot 2002 werd een breed opgezet onderzoek uitgevoerd naar de geuremissie uit huisvestingssystemen op een groot aantal bedrijfslocaties (Ogink en Klarenbeek, 1997; Ogink en Lens, 2001, Mol en Ogink, 2002). Parallel aan de metingen van de geuremissie werden kortdurende ammoniakemissiemetingen uitgevoerd. Uit het onderzoek bleek dat de geuremissie van stallen met hetzelfde huisvestingssysteem aanzienlijk kan verschillen tussen bedrijfslocaties als gevolg van verschillende bedrijfsvoeringen. Bovendien bleek dat dit mogelijk eveneens voor ammoniakemissie aan de orde was. Dit zou betekenen dat de meetfout van meetprotocollen voor emissiefactoren van huisvestingssystemen die gebaseerd zijn op één stallocatie, groter is dan verwacht. In dergelijke protocollen wordt immers de bijdrage van de tussen-bedrijfslocatie verschillen aan de totale meetfout niet teruggedrongen door het herhalen van metingen op meerdere locaties. Emissiefactoren op de Rav-lijst zijn hoofdzakelijk

gebaseerd op metingen volgens de Beoordelingsrichtlijn Groen Label uit 1996 met één stallocatie. De vraag rijst daarmee in hoeverre de huidige indeling en detaillering van de Rav-lijst recht doet aan de nauwkeurigheid van de emissiefactoren, wanneer deze nauwkeurigheid wordt uitgezet tegen het actuele onderscheidingsniveau in de Rav-lijst. Een andere vraag die naar voren komt is of verkregen inzichten benut kunnen worden om meetprotocollen voor emissiefactoren verder te verbeteren. Voor de beantwoording van deze vragen is het echter allereerst van belang om een zo goed mogelijk inzicht te krijgen in de verschillen in ammoniakemissie tussen bedrijven met hetzelfde huisvestingssysteem. Hiervoor is een statistische analyse noodzakelijk gebaseerd op zoveel mogelijk datasets met een steekproefstructuur die inzicht kan verschaffen in alle variatieniveaus.

### **Doelstellingen**

Naar aanleiding van de hierboven uiteengezette problematiek, is in het LNV-onderzoeksprogramma "Gasvormige emissies uit de veehouderij" een studie uitgevoerd waarvan de inhoud in dit rapport is vastgelegd. De doelen van deze studie zijn:

- Analyse van beschikbare meetreeksen voor vier hoofdcategorieën in de varkenshouderij (vleesvarkens, dragende zeugen, biggen en kraamzeugen) met medeneming van zoveel mogelijk huisvestingssystemen, gericht op het vaststellen van de variatiestructuur in deze reeksen. Hiervoor worden de variantiecomponenten geanalyseerd die de nauwkeurigheid van emissiefactoren volgens het huidige meetprotocol bepalen.
- Aan de hand van de conclusies over de nauwkeurigheden van de emissiefactoren in de Rav-lijst, verkennen welke consequenties daaruit voortvloeien ten aanzien van de huidige meetprotocollen en de indeling van de stalsystemen in de Rav.

In hoofdstuk 2 worden de middelen en de gevolgde analysemethode beschreven. Het geeft een beschrijving van de gebruikte datasets, de hieraan ten grondslag liggende meetstrategieën, de gebruikte locaties/datasets voor verschillende diercategorieën, de analytische technieken voor debiet, ammoniakconcentratie en -emissie metingen, en de statistische bewerkingen. Tevens wordt het statistische model beschreven voor de uiteindelijke analyse. In hoofdstukken 3-6 worden per diercategorieën (vleesvarkens, dragende zeugen, biggen en kraamzeugen, respectievelijk) de resultaten van de analyses en statistische bewerkingen weergegeven en besproken. In hoofdstuk 7 worden op basis van de resultaten uit hoofdstukken 3 tot en met 6 algemene conclusies geformuleerd en voorstellen –op hoofdlijnen- gedaan voor aanpassing van de meetprotocollen en voor een beter onderbouwde indeling van stalsystemen.

## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Dataset opbouw

De datasets voor de verschillende diercategorieën en huisvestingssystemen in de varkenshouderij zijn opgebouwd uit metingen die gebaseerd zijn op verschillende meetstrategieën met verschillende meetmethoden, afkomstig uit twee verschillende onderzoeken. Om de ammoniakemissie van een stalsysteem te bepalen moet de ammoniakconcentratie van de uitgaande stallucht en de hoeveelheid uitgaande stallucht (debiet) tegelijkertijd worden bepaald. Door beide met elkaar te vermenigvuldigen wordt de ammoniakemissie verkregen. Meetstrategieën (hoe vaak, hoe lang en waar meten) en meetapparatuur voor het bepalen van ammoniakconcentratie en debiet kunnen hierbij verschillen.

Het eerste onderzoeksprogramma betreft het ammoniakemissie onderzoek voor de Rav. Ammoniakemissies uit verschillende (emissie reducerende) huisvestingssystemen werden sinds het midden van de jaren negentig gemeten om in eerste instantie Groen Label certificaten af te geven en later emissiefactoren binnen de Rav te bepalen. Deze metingen werden volgens het huidige meetprotocol voor emissiefactoren (Beoordelingsrichtlijn Groen Label, 1996) uitgevoerd. Dat betekent dat de ammoniakconcentratie (semi-) continu (minimaal een meetwaarde per uur) werd gemeten met behulp van de NO<sub>x</sub> analyser in combinatie met NH<sub>3</sub>-convertors (Bleijenberg en Ploegaert, 1994) of met een fotoakoestische monitor (Beoordelingsrichtlijn Groen Label, 1996). Het ventilatiedebiet werd bepaald met behulp van een meetventilator (Bleijenberg en Ploegaert, 1994) die in de ventilatiekoker was geplaatst. De rapportages binnen dit onderzoeksprogramma zijn terug te vinden op [www.stalemissies.nl](http://www.stalemissies.nl).

Het tweede onderzoeksprogramma betreft het geuremissieonderzoek, bekend onder de projectnaam PYTHIA (Ogink en Klarenbeek, 1997; Ogink en Lens, 2001; Mol en Ogink, 2002). Dit onderzoek was in eerste instantie gericht op geur maar er werden ook ammoniakemissiemetingen uitgevoerd met behulp van een aangepast meetprotocol (Ogink en Klarenbeek, 1997; Ogink en Mol, 2002). De ammoniakconcentratie werd bepaald met behulp van de natchemische meetmethode, waarbij stallucht gedurende een vaste meetperiode (tussen 10:00 en 12:00 uur) door een absorptievloeistof wordt geleid (Wintjens, 1993). Het ventilatiedebiet werd bepaald met behulp van een meetventilator (Bleijenberg en Ploegaert, 1994) die in de ventilatiekoker was geplaatst. Deze metingen werden voor een aantal (5-10) geselecteerde dagen (dus niet dagelijks over het gehele meetperiode) uitgevoerd.

Om de bestaande datasets te analyseren wordt naast de verdeling in meetprincipe ook een onderverdeling in diercategorieën en huisvestingssystemen per diercategorie gemaakt.

#### 2.1.1 Diercategorieën

Dit onderzoek is gericht op de varkenshouderij, te weten: vleesvarkens, dragende zeugen, biggen en kraamzeugen. Vleesvarkens, biggen en kraamzeugen zijn dynamische diergroepen. Binnen een productieperiode verandert de stalsituatie sterk, o.a. doordat de dieren groeien. Bij dragende zeugen is sprake van een diergroep met een statisch karakter, de groeps grootte en het gewicht van de groep blijven binnen de stalsituatie gelijk. Voor het individuele dier is er wel sprake van een productieperiode namelijk een drachtperiode van 115 dagen waarin ook een beperkte toename van gewicht is. In tabel 2 worden de kenmerken per diergroep kort omschreven.

**Tabel 2** Kenmerken per diergroep

	Groeitraject	Duur productieperiode	Stalbezetting
Vleesvarkens	23-110 kg	105 dagen	Leegstand tussen productieronde
Dragende zeugen	200 kg*	115 dagen	Continue bezet
Biggen	8-23 kg	40 dagen	Leegstand tussen productieronde
Kraamzeugen (inclusief biggen tot 8 kg)	1,5-8 kg**	35 dagen	Leegstand tussen productieronde

\* gemiddeld gewicht, geen groeitraject

\*\* groeitraject biggen

## 2.2 Huisvestingssystemen

Per diercategorie zijn de meest voorkomende huisvestingssystemen onderzocht. Hiervoor zijn de beschikbare datasets onderverdeeld in verschillende hoofdcategorieën per diergroep, waarbij het emissiereducerende principe de leidraad is geweest. Hieronder volgt een korte omschrijving van de emissiereducerende principes en de benaming van het stalsysteem dat erbij hoort. De verschillende huisvestingssystemen per diercategorie zijn in tabellen 3-6 weergegeven.

- **Conventioneel:** alle datasets waarbij geen emissiereducerende maatregelen in de stal zijn toegepast.
- Koeling van het mestoppervlak, de lagere mesttemperatuur en de koude lucht onder de roostervloer zorgen voor de vermindering van de ammoniakemissie. De benaming voor dit principe is **Koeldek**. Dit is bemeten bij alle diercategorieën.
- Dagelijkse afvoer van de mest door middel van spoelen met N-arme vloeistof en verkleining van het emitterende oppervlak door de V-vorm van de mestopslag onder de roostervloer. De benaming voor dit principe is **Spoelgoten**. Dit is bemeten bij alle diergroepen.
- Beperking van het emitterende oppervlak door specifieke plaatsing van de mestopslag en regelmatige afvoer van de mest onder de roostervloer door beperkte mestopslag. Voor dragende zeugen is de benaming van dit systeem **Delvris** en voor kraamzeugen **Mestgoot**.
- Beperking van het emitterende oppervlak door de vorm van de mestopslag onder de roostervloer en regelmatige afvoer van de mest onder de roostervloer door beperkte mestopslag. Voor vleesvarkens is de benaming van dit systeem **IC-V** en voor biggen **Mestgoot**.

Per algemene benaming van het stalsysteem is sprake van subsystemen waarbij de basis, het emissiereducerende principe, gelijk blijft, maar verschillen in bijvoorbeeld type roostervloer het subsysteem bepalen. In tabel 3 tot en met 6 staan per subsysteem van een hoofdcategorie het aantal locaties en datasets weergegeven voor beide onderzoeksprogramma's (Rav-onderzoek en PYTHIA-onderzoek). In Bijlage A staan de omschrijvingen van de stalsystemen zoals deze worden weergegeven bij iedere Rav-code (VROM, 2002). Een gedetailleerd overzicht van de gebruikte datasets is in Bijlage B weergegeven.

**Tabel 3** Overzicht van de in dit onderzoek gebruikte datasets uit Rav- en PYTHIA-onderzoek naar huisvestingssystemen van vleesvarkens, met voor elke hoofdcategorie per subsysteem het aantal locaties en datasets

Systeem	Rav-code (VROM, 2002)	Rav-onderzoek		PYTHIA-onderzoek	
		Locaties	Datasets	Locaties	Datasets
Conventioneel	D3.4.1	3	4	6	9
	D3.4.2	1	2	2	3
Koeldek	D3.2.3.2	-	-	1	1
	D3.2.6.1	1	4	1	2
	---- (*)	1	2	-	-
	D3.2.6.2.2	1	2	1	2
Spoelgoten	D3.2.12.1	2	4	-	-
	D3.2.13.1	2	6	2	3
	D3.2.13.2	-	-	1	2
IC-V	D3.2.7.1.1	-	-	2	3
	D3.2.7.1.2	-	-	3	4
	---- (*)	1	6	-	-

(\*) Geen Rav-code beschikbaar

- Geen dataset beschikbaar

**Tabel 4** Overzicht van de in dit onderzoek gebruikte datasets uit Rav- en PYTHIA-onderzoek naar huisvestingssystemen van dragende zeugen, met voor elke hoofdcategorie per subsysteem het aantal locaties en datasets

Systeem	Rav-code (VROM, 2002)	Rav-onderzoek		PYTHIA-onderzoek	
		Locaties	Datasets	Locaties	Datasets
Conventioneel	D1.3.12	5	7	9	14
	D1.3.13	2	6	1	1
Koeldek	D1.3.8.1	1	2	3	3
	D1.3.8.2	-	-	2	3
Spoelgoten	D1.3.3	1	8	3	5
Delvris	D1.3.1	-	-	4	5

- Geen dataset beschikbaar

**Tabel 5** Overzicht van de in dit onderzoek gebruikte datasets uit Rav- en PYTHIA-onderzoek naar huisvestingssystemen van biggen, met voor elke hoofdcategorie per subsysteem het aantal locaties en datasets

Systeem	Rav-code (VROM, 2002)	Rav-onderzoek		PYTHIA-onderzoek	
		Locaties	Datasets	Locaties	Datasets
Conventioneel	D1.1.15.1	3	6	1	4
	D1.1.15.2	1	1	1	2
Koeldek	D1.1.11.1	1	1	-	-
	D1.1.11.2	-	-	2	3
Spoelgoten	D1.1.2.1	2	4	-	-
	D1.1.2.2	-	-	1	4
Mestgoot	D1.1.3.1	1	2	1	2
	D1.1.3.2	-	-	1	2

- Geen dataset beschikbaar

**Tabel 6** Overzicht van de in dit onderzoek gebruikte datasets uit Rav- en PYTHIA-onderzoek naar huisvestingssystemen van kraamzeugen, met voor elke hoofdcategorie per subsysteem het aantal locaties en datasets

Systeem	Rav-code (VROM, 2002)	Rav-onderzoek		PYTHIA-onderzoek	
		Locaties	Datasets	Locaties	Datasets
Conventioneel	D1.2.16	1	2	2	3
Koeldek	D.1.2.12	1	2	1	2
Spoelgoten	D1.2.1	1	2	1	2
Mestgoot	D1.2.5	1	4	2	3

## 2.3 Verwerking en analyse van de data

### 2.3.1 Berekeningsmethode voor emissieniveaus (mediaan)

De ammoniakemissie is gelijk aan het product van de ammoniakconcentratie van de uitgestoten ventilatielucht en het totale debiet van deze stroom:

$$E_{\text{NH}_3} = Q_v * C_{\text{NH}_3} * CF / \text{Dpl}$$

Met:  $E_{\text{NH}_3}$  = Ammoniakemissie in kg.dpl<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup>  
 $Q_v$  = Ventilatie-debiet in m<sup>3</sup>.uur<sup>-1</sup>  
 $C_{\text{NH}_3}$  = Ammoniakconcentratie in ppm  
 $\text{Dpl}$  = Aantal dierplaatsen  
 $CF$  = Conversiefactor ((17/22.4)\*10<sup>-6</sup>\*24\* 365/1000)

Voor elke stallocatie wordt de ammoniakemissie op deze wijze voor alle meetdagen afzonderlijk berekend. Per meetdag wordt hierbij de gemiddelde waarde genomen van de ammoniakconcentratie en het ventilatie-debiet tijdens de gemeten uren (1 waarde met het gemiddelde van de 2 gemeten uren in het PYTHIA-onderzoek, 24 waarden met uurgemiddelden in het Rav-onderzoek). Het aantal dierplaatsen in de berekening is gelijk aan het aantal dat volgens de geldende milieuvergunning maximaal mag worden gehouden en dat vooraf in de afsprakenlijst over de bedrijfsvoering is vastgelegd.

Vervolgens wordt de mediaan van de ammoniakemissie van de stallocatie geschat door middel van het geometrische gemiddelde van de emissies op alle meetdagen, met als uitgangspunt dat de ammoniakemissies van een bedrijf volgens een log-normale distributie zijn verdeeld. Hiervoor worden de meetwaarden eerst getransformeerd naar ln-waarden (natuurlijke logaritme) waarvan het gemiddelde wordt bepaald.

### 2.3.2 Emissiepatronen

Voor de datasets van het Rav-onderzoek (semi-continu metingen) is het mogelijk het emissiepatroon (verloop in de meetperiode door groei-effect en seizoenseffect) te bepalen. Om het groeipatroon in de verschillende datasets (verschillende huisvestingssystemen en bedrijven, verschillende ronden) voor een specifieke diergroep zichtbaar te maken wordt het relatieve verloop t.o.v. een gemiddeld emissieniveau berekend. Eerst wordt de gemiddelde emissie voor iedere ronde berekend. Vervolgens worden (per ronde) de daggemiddelden uitgedrukt als percentage van de berekende gemiddelde emissie (voor die specifieke ronde). Tenslotte wordt voor iedere dag in de productieronde het gemiddelde van deze percentages voor alle ronden berekend. De relatieve ontwikkeling van ammoniakemissie tijdens een productieronde wordt in figuren weergegeven.

Seizoeneffecten (klimaat) kunnen bepalend zijn voor het emissieniveau. Om eventuele seizoenseffecten te bepalen worden eerst de daggemiddelden (per ronde) gecorrigeerd voor het groei-effect zoals boven werd aangegeven. Vervolgens worden de gecorrigeerde daggemiddelden gekoppeld aan de dag in het jaar waarin ze zijn gemeten. Daarna wordt voor elke dag in het jaar het gemiddelde genomen van alle beschikbare daggemiddelden. Tenslotte wordt de gemiddelde jaaremissie berekend en iedere dag in het jaar als een percentage hiervan uitgedrukt. Het relatieve verloop van de emissie door het jaar wordt in figuren weergegeven.

### 2.3.3 Statistische analyse

#### 2.3.3.1 Het statistische model, aannames en toetsingen

Ogink en Klarenbeek (1997) beschrijven een variantiecomponenten model voor de beschrijving van de variatiestructuur van de emissie van een huisvestingssysteem. Dit model werd toegepast voor de evaluatie van meetstrategieën in PYTHIA-onderzoek, maar is eveneens toepasbaar voor NH<sub>3</sub>-emissies. De essentie van dit model is het onderscheid naar drie variantielagen in een geneste meetopzet. De opzet bestaat uit het herhaald steekproefsgewijs meten van een aantal bedrijven binnen een stalsysteem, met gebruikmaking van één type meetmethode. De volgende variantielagen zijn hierin te onderscheiden:

- tussen-bedrijfvariatie: het gaat hier om variatie veroorzaakt door factoren die systematische verschillen opleveren tussen de gemiddelde emissieniveaus van bedrijfslocaties binnen hetzelfde systeem. Te denken valt aan verschillen in stalrichting/uitvoering die binnen een systeem kunnen voorkomen, en verschillen in bedrijfsmanagement met name voer- en ventilatieregime en stalhygiëne. Deze variatie tussen bedrijfslocaties wordt aangeduid met de verkorte term tussen-bedrijfvariatie en heeft altijd betrekking op verschillen tussen bedrijfslocaties. Mocht het voorkomen dat meerdere locaties eigendom van hetzelfde bedrijf zijn, wat in de gebruikte dataset overigens niet het geval was, dan blijft het gaan om de verschillen tussen de locaties. De inrichtingsverschillen en managementstijlen zijn immers vooral aan bedrijfslocaties gebonden.
- binnen-bedrijfvariatie: variatie veroorzaakt door factoren die, gegeven een gemiddeld emissieniveau van een bedrijfslocatie, toevalsvariantie van de één op de andere dag veroorzaken rond dit niveau. Hieraan ten grondslag liggen factoren als voeropname, mestuitscheiding en ventilatieniveau. Seizoensfactoren die het staklimaat en het ventilatieniveau beïnvloeden hebben eveneens effect op de emissie van de één op de andere dag.
- meetmethode-variatie: variatie veroorzaakt door toevalsfouten van het meetinstrument.

Deze benadering is als uitgangspunt genomen voor de analyse van de variatiestructuur per diergroep. Bij de verwerking van de data is gebruik gemaakt van de 'REML (REsidual Maximum Likelihood) directive' van het statistische pakket Genstat 6.1, 6<sup>th</sup> edition. REML gebruikt een lineair gemengd model met factoren met ingestelde waarden, variantiecomponenten met niet-ingestelde afwijkingen en co-variabelen. De volgende statistische modellen zullen worden getoetst:

$$Y_{ij} = C + S + \sigma^2(L_i) + \sigma^2(L_i \cdot S) + \sigma^2(R_{ij}) \quad (\text{REML Model 1})$$

$$Y_{ij} = C + S + R + \sigma^2(L_i) + \sigma^2(L_i \cdot S) + \sigma^2(R_{ij}) \quad (\text{REML Model 2})$$

$$Y_{ij} = C + S + D + \sigma^2(L_i) + \sigma^2(L_i \cdot S) + \sigma^2(R_{ij}) \quad (\text{REML Model 3})$$

$$Y_{ij} = C + S + R + D + \sigma^2(L_i) + \sigma^2(L_i \cdot S) + \sigma^2(R_{ij}) \quad (\text{REML Model 4})$$

$Y_{ij}$  = Responsvariabel, de waargenomen ammoniakemissie van locatie  $i$  tijdens dagmeting  $j$ , uitgedrukt in  $\ln(\text{kg} \cdot \text{jaar}^{-1} \cdot \text{dierplaats}^{-1})$ , zie paragraaf 2.2.1

$C$  = Constante die de ammoniakemissie op een locatie met gemiddeld management voor de referentiewaarden van de factoren  $S$  en  $D$  beschrijft, uitgedrukt in eenheden van  $Y$

$S$  = Het effect van de factor stalsysteem, per stalsysteem uitgedrukt t.o.v. het referentie-stalsysteem (conventioneel) in eenheden van  $Y$

$R$  = De co-variabele groei-effect (dag in de ronde, gewicht van de dieren)

$D$  = De co-variabele ventilatedebiet, uitgedrukt in  $\ln(\text{m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1} \cdot \text{dier}^{-1})$

$\sigma^2(L_i)$  = Variantiecomponent behorende bij de verdeling van stallocaties  $i$ , in eenheden van  $Y$

$\sigma^2(L_i \cdot S)$  = Variantiecomponent behorende bij een verdeling die de interactie tussen stallocaties  $i$  (L) en stalsysteem ( $S$ ) beschrijft, in eenheden van  $Y$ . De term beschrijft de aanvullende tussen-locatie variatie als gevolg van interactie tussen bedrijfsmanagement en stalsysteem

$\sigma^2(R_{ij})$  = Variantiecomponent die de restterm beschrijft voor de waarnemingen op locatie  $i$  tijdens meetdag  $j$ , in eenheden van  $Y$

De responsvariabele en het debiet zijn op jaarbasis uitgedrukt om aansluiting te houden met de  $R_{av}$ .

In model 1 worden alleen de variantiecomponenten voor de binnen en tussen bedrijven variatie meegenomen om de spreiding in de gemeten ammoniakemissie te verklaren. In modellen 2 en 3 worden respectievelijk het groei-effect en het debiet als verklarende co-variabelen toegevoegd, terwijl model 4 zowel het groei-effect als het debiet als verklarende co-variabelen gebruikt.

Voor het kunnen toepassen van deze methode is het van belang dat de toevalscomponent in de responsvariabele  $Y$  die in het model door drie verschillende variantie-componenten wordt beschreven, normaal verdeeld is. De ervaring leert dat dit op absolute schaal, uitgedrukt in  $\text{kg} \cdot \text{jaar}^{-1} \cdot \text{dierplaats}^{-1}$  niet het geval is. Een normale verdeling met een spreiding onafhankelijk van het niveau van  $Y$  kan benaderd worden door deze uit te drukken op een natuurlijk logaritmische schaal (De Boer en Ogink, 1994). Dit betekent dat in de analyse eveneens de responsvariabele is getransformeerd naar de  $\ln$ -schaal.

In het model worden de effecten van tussen-bedrijfvariatie,  $\sigma^2(L_i)$ , en de interactieterm met stalsysteem,  $\sigma^2(L_i \cdot S)$ , gecorrigeerd naar een gemiddeld niveau zodat een zuivere schatting voor de emissie per stalsysteem wordt verkregen. Deze niveaus zijn echter uitgedrukt als de verwachtingswaarden (gemiddelde) van de  $\ln$ -getransformeerde emissie. Op de oorspronkelijke schaal met scheve verdeling komt dit  $\ln$ -gemiddelde overeen

met de mediaan (d.w.z. de waarde waarbij 50% van de getallen in de verdeling kleiner is en 50% groter) en is deze waarde kleiner dan het gemiddelde van de oorspronkelijke verdeling. Omdat gebruikers in de praktijk veelal geïnteresseerd zijn in een schatting van het gemiddelde ( $\overline{E}$ ), omdat immers ammoniakdeposities worden geschat, zijn uit de geschatte medianen bijbehorende gemiddeldes afgeleid. Dit wordt op de volgende wijze gedaan:

$$\overline{E} = e^{(\ln(\overline{E}) + 0.5 \cdot (\sigma^2(L_i) + \sigma^2(L_i \cdot S) + \sigma^2(R_{ij})))}$$

### 2.3.3.2 Variantiecomponenten en nauwkeurigheid van meetprotocollen

Op basis van de geschatte variantiecomponenten per systeem kan de meetfout in een geneste opzet op een eenvoudige manier worden berekend volgens:

$$\sigma_{systeem}^2 = \frac{\sigma_{tussen}^2}{k} + \frac{\sigma_{binnen}^2}{k \cdot l} + \frac{\sigma_{meetmethode}^2}{k \cdot l \cdot m}$$

met:

- $\sigma_{systeem}^2$  = de variantie behorende bij de totale meetfout van de emissie van een stalsysteem, waarbij de emissie wordt gedefinieerd als de gemiddelde dagemissie
- $\sigma_{tussen}^2$  = de variantie in emissie tussen bedrijven met hetzelfde stalsysteem
- $\sigma_{binnen}^2$  = de variantie in emissie tussen metingen op hetzelfde bedrijf
- $\sigma_{meetmethode}^2$  = de variantie behorende bij de meetmethode gedurende één bemonstering
- k = het aantal bedrijven in het bemonsteringsschema
- l = het aantal bemonsteringen per bedrijf
- m = het aantal metingen per bemonstering

De vereenvoudiging in deze formule heeft betrekking op de aanname dat de componenten  $\sigma_{tussen}$ ,  $\sigma_{binnen}$  en  $\sigma_{meetmethode}$  onafhankelijk van elkaar zijn, en dat de toewijzing van metingen naar bedrijven en bijbehorende bemonsteringsperiodes volgens een aselekt schema plaatsvindt. In de meetpraktijk is deze onafhankelijkheid niet altijd verzekerd bij emissiemetingen. Bij elkaar snel in de tijd opvolgende metingen op een bedrijfslocatie treedt autocorrelatie op. De toepassing van het hierboven beschreven model dient zich daarom te beperken tot situaties waarin metingen voldoende ver uit elkaar liggen.

### 2.3.3.3 Effecten aanpassing meetprotocol op de eindnauwkeurigheid

Analyse van de variatiestructuur van emissiedata levert de basisinformatie voor de wijze waarop meetprotocollen kunnen worden ingericht om een gegeven eindnauwkeurigheid te kunnen bereiken. Voor de vleesvarken-set is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de eindnauwkeurigheid waarbij is gekeken naar het effect van het aantal bedrijfslocaties, het aantal meetdagen en de nauwkeurigheid van de meetapparatuur. Als referentie is een meetprotocol gebruikt gebaseerd op één bedrijfslocatie en 6 meetdagen over het jaar verspreid. De effecten zijn geschat met gebruikmaking van de formule van de totale meetfout en de geschatte variantiecomponenten van model 1 (zonder co-variabelen zoals proefdag/gewicht van de dieren en debiet). De derde meetfoutcomponent in deze formule is voor het referentie-protocol ingeschat op 5%, aangezien deze niet uit de variantie-analyse kon worden afgeleid.

Een belangrijke vraag in het huidige meetprotocol is of de vastgelegde frequentie van metingen (continue metingen) kosteneffectief is in relatie tot de kwaliteit van de verkregen gegevens. Door autocorrelatie voegt de (huidige) intensiviteit van de metingen niet veel extra informatie toe. Autocorrelatie ontstaat doordat emissiebepalende factoren (klimaatparameters, management) per dag niet toevallig variëren, wat een regelmaat in het verloop van de emissie kan introduceren. Wanneer een onafhankelijk steekproefschema (random) wordt gebruikt zal bij voldoende data weinig invloed van deze regelmaat in de emissieschatting merkbaar zijn, waarbij bovendien geen inefficiënte inspanningen worden verricht door lange tijdsreeksen met op elkaar gelijkende informatie te verzamelen. Het effect van het aantal meetdagen in een meetperiode op de meetnauwkeurigheid is onderzocht door middel van een bemonsteringssimulatiestudie. Per diercategorie werden op alle beschikbare datasets uit het Rav-onderzoek (continue reeksen) bemonsteringssimulaties uitgevoerd. De



simulaties werden voor verschillende aantallen monsterdagen uitgevoerd, vanaf één bemonsteringsdag tot tien dagen. Hierbij werden per dataset de volgende bewerkingen verricht:

1. Per ronde-dataset wordt een aselechte trekking verricht van een aantal dagen (bijvoorbeeld 10 dagen) binnen evenredig over de gehele ronde verdeelde intervallen. De intervalgrootte is hierbij afhankelijk van het aantal trekkingen.
2. De berekende emissie (gemiddelde van de geselecteerde dagen) en de gemeten emissie (gemiddelde van de gehele ronde) worden vergeleken, en het resultaat uitgedrukt in % emissie fout.
3. Dit proces wordt een aantal keer (in dit geval 20 keer) herhaald, en de gemiddelde afwijking en de standaarddeviatie van alle simulaties berekend voor de betreffende dataset.
4. Vervolgens wordt een nieuwe trekking uitgevoerd met bijvoorbeeld 9 dagen, en de stappen 1-3 opnieuw uitgevoerd. Dit wordt voor de verschillende aantallen trekkingsdagen (in dit geval 1-10 dagen) herhaald.

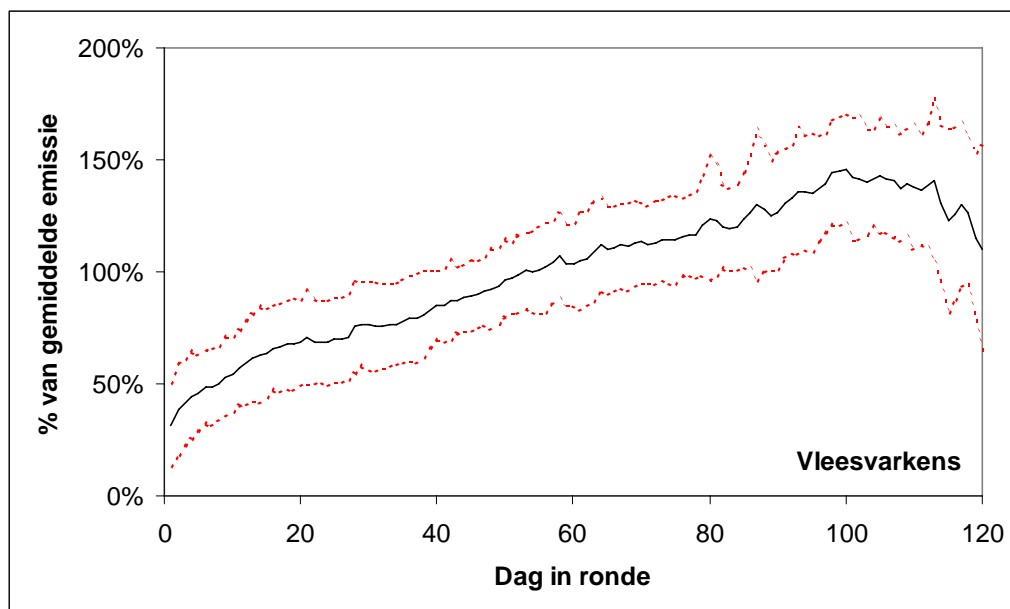
Vervolgens werden de resultaten per bemonsteringsfrequenties gemiddeld over alle datasets, waarbij de overall gemiddelde afwijking en gemiddelde standaarddeviatie werd bepaald en weergegeven in een figuur.

### 3 Vleesvarkens

#### 3.1 Emissiepatronen

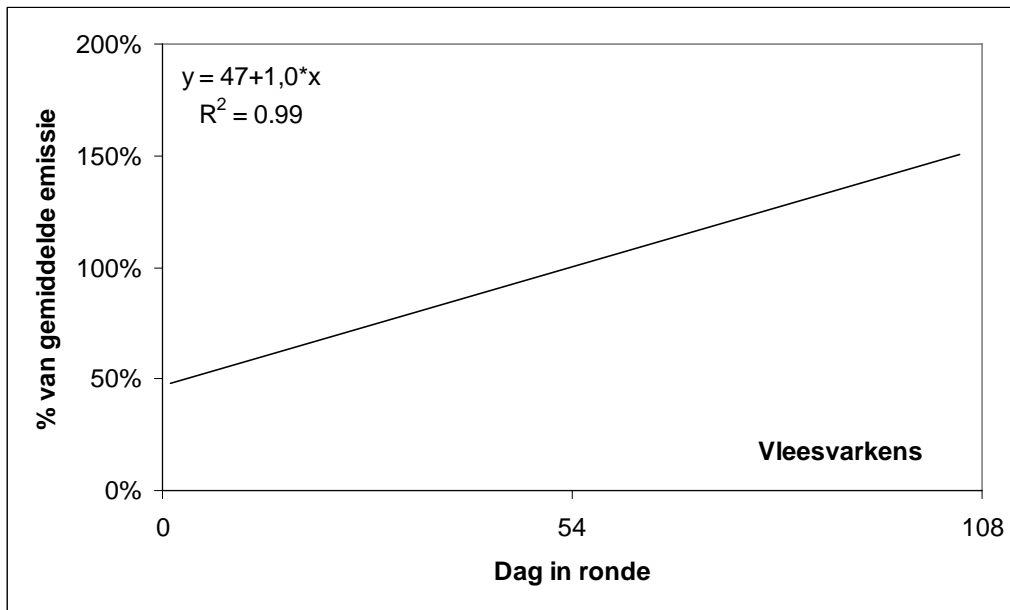
Vleesvarkens hebben een groeiperiode van 15-16 weken, waarin ze van ca. 23 kg tot ca. 100 kg groeien met een gemiddelde groei van 700-750 gram per dag. Het verloop van het gemiddelde emissiepatroon (zie 2.2.2) in de beschikbare datasets voor vleesvarkens is weergegeven in figuur 3. De figuur laat zien dat het verloop van de ammoniakemissie een rechtlijnig karakter heeft en daarmee het eveneens lineaire groeitraject van de dieren volgt. De daling van de emissie na dag 105 wordt veroorzaakt doordat een deel van de aanwezige dieren in de afdeling wordt afgeleverd (de slachtrijpe dieren), waardoor de emissie per afdeling afneemt. Omdat de emissie hier wordt uitgedrukt op basis van het aantal vergunde dierplaatsen en deze onveranderd blijft zal per dierplaats de emissie afnemen. De standaarddeviatie rondom het lineaire emissiepatroon is gemiddeld 20% en wordt veroorzaakt door mogelijke variaties tussen bedrijven (management) en door fluctuaties binnen een bedrijf (ventilatie-niveau, temperatuur). Als vuistregel kan hierbij worden gehanteerd dat 90% van de waarnemingen op een bepaalde rondedag binnen een bandbreedte van tweemaal de standaarddeviatie onder en boven het gemiddelde ligt.

**Figuur 3** Verloop van het % van de gemiddelde emissie vs. dag in ronde (groeicycli) voor vleesvarkens. De stippelijijn is de standaarddeviatie



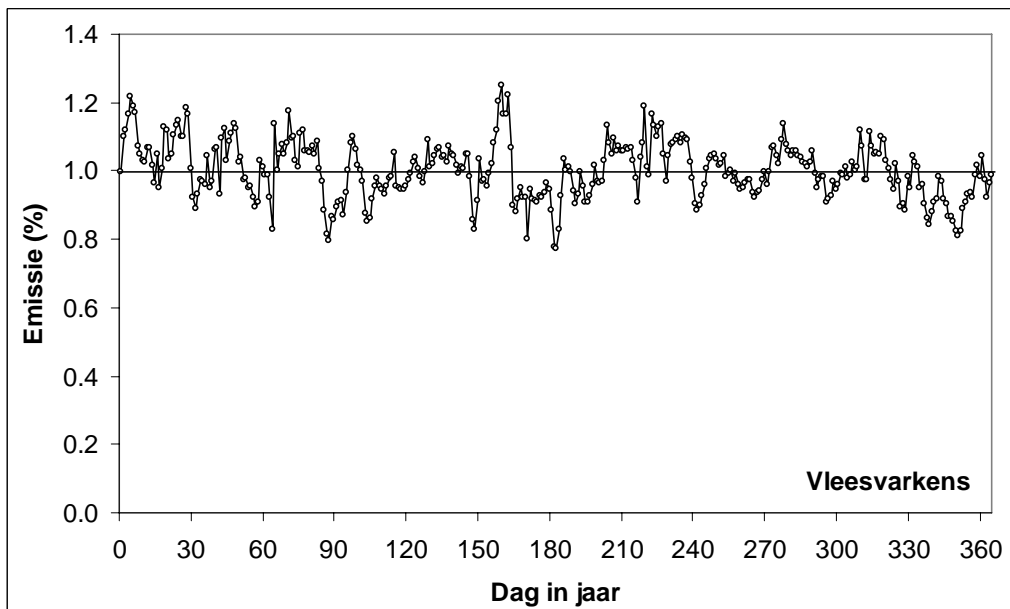
Figuur 4 geeft de regressielijn die is bepaald op basis van het lineaire emissiepatroon uit figuur 3. De regressielijn is berekend vanaf dag 1 tot en met dag 105. Op dag 54 wordt 100% van de gemiddelde emissie bereikt. De vergelijking laat zien dat aan het eind van de ronde de emissie een factor drie hoger ligt dan aan het begin. Wanneer dit wordt vergeleken met de gewichtontwikkeling, waarbij aan het eind van de ronde het gewicht een factor 4 hoger ligt, wordt duidelijk dat de emissie per eenheid diersmassa afneemt tijdens de ronde.

**Figuur 4** Regressielijn van het emissiepatroon voor vleesvarkens tijdens een ronde uitgedrukt als percentage van het gemiddelde emissieniveau



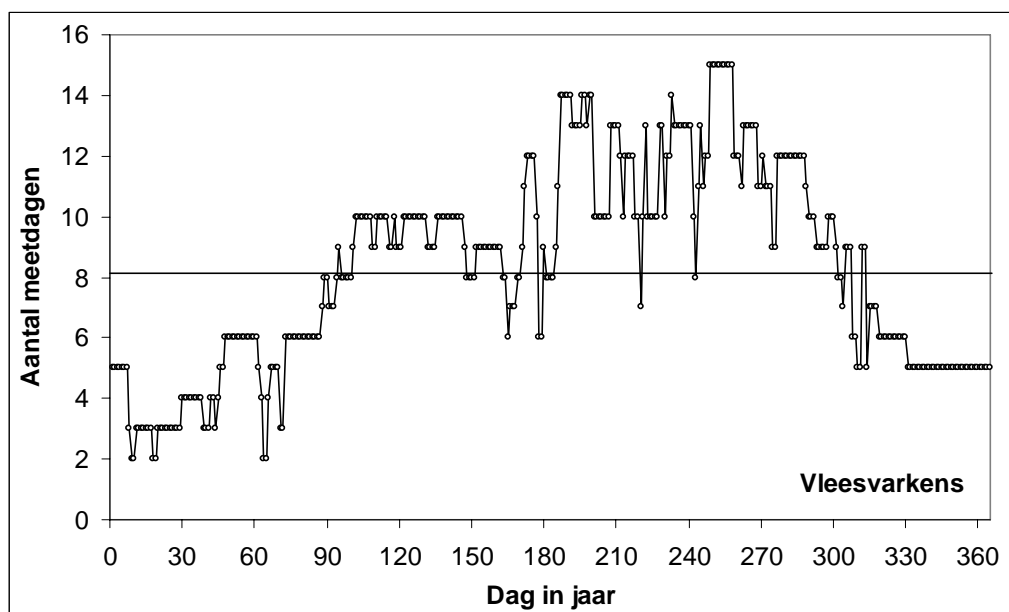
Figuur 5 geeft het resultaat van de bepaling van het seizoenspatroon weer (zie 2.2.2 voor de berekeningsmethode). In tegenstelling tot figuur 3 (productieronde-effect), laat figuur 5 geen duidelijke emissiepatroon (seizoenseffect) zien. Het patroon suggereert dat het productieronde-effect (groeycycli) meer invloed heeft op de ammoniakemissie dan (mogelijke) seizoenseffecten.

**Figuur 5** Fluctuatie van de ammoniakemissie van vleesvarkens door het jaar uitgedrukt als percentage van de overall gemiddelde emissie



De verdeling van de datasets is echter niet evenredig over het gehele jaar. Figuur 6 laat zien dat de meeste data verzameld zijn in de zomer en herfst. De data omvatten alle huisvestingssystemen van vleesvarkens met verschillende emissieniveaus. Indien deze huisvestingssystemen niet gelijkmatig over het jaar zijn besteed, blijft de mogelijkheid bestaan dat het seizoensverloop hierdoor wordt vertekend. Om het seizoenseffect te bepalen is een meer evenredige dataset noodzakelijk. Toekomstige metingen aan stalsystemen zouden hiermee rekening kunnen houden.

**Figuur 6** Aantal beschikbare meetdagen per dag in het jaar voor de analyse van het seizoenspatroon van ammoniakemissie uit vleesvarkenstallen



### 3.2 Variatiestructuur bij emissiemetingen

Om de aanzienlijke variatie tussen metingen in de datasets beter inzichtelijk te maken is een statistische analyse uitgevoerd. Het doel van deze analyse is het verkrijgen van inzicht in de variatie binnen en tussen locaties. In tabel 7 staan de resultaten voor de modelvarianten (zie hoofdstuk 2.2.3) weergegeven.

**Tabel 7** Geschatte variantiecomponenten bij ammoniakemissiemetingen (vleesvarkens) voor vier verschillende modellen, zoals beschreven in 2.2.3

Variatiebronnen	Model 1 (geen co-variabel)	Model 2 (proefdag)	Model 3 (debiet)	Model 4 (proefdag en debiet)
$\sigma^2(L_i)$	0,03	0,01	0,09	0,05
$\sigma^2(L_i, S)$	0,16	0,18	0,07	0,11
$\sigma^2(R_{ij})$	0,20	0,09	0,13	0,08
$\sigma_{tussen}$	0,44	0,43	0,40	0,41
$\sigma_{binnen}$	0,44	0,30	0,35	0,28

Alle toegepaste statistische modellen tonen een aanzienlijke tussen-bedrijfvariatie ( $\sigma_{tussen}$ ) die dezelfde orde van grootte heeft als de binnenbedrijf variatie ( $\sigma_{binnen}$ ). De tussen-bedrijfvariatie is hierbij uitgedrukt in een huisvestingsonafhankelijke tussen-bedrijfcomponent ( $\sigma^2(L_i)$ ) en de interactie van deze component met huisvestingssysteem ( $\sigma^2(L_i, S)$ ). De totale tussen-bedrijfvariantie is de som van deze componenten. De wortel uit deze som ( $\sigma_{tussen}$ ) is een maat voor de spreiding tussen bedrijven. Omdat deze staat uitgedrukt in ln-eenheden kunnen deze grootheden (keer honderd) bij benadering als een proportionele spreidingsmaat in procenten worden geïnterpreteerd. De geschatte variantiecomponenten voor binnen- en tussen-bedrijfvariatie hebben, na verdiscontering van de effecten voor rondedag en debiet, een orde van grootte van respectievelijk 30 en 40% van het gemiddelde emissieniveau van een systeem.

### 3.3 Emissieniveaus

In tabel 8 staan de ongecorrigeerde emissieniveaus vermeld van de verschillende huisvestingssystemen die in dit onderzoek werden geanalyseerd. Per dataset is het gemiddelde bepaald, en vervolgens zijn de datasetgemiddeldes per huisvestingssysteem gemiddeld. De standaarddeviatie tussen deze datasets binnen een huisvestingssysteem is eveneens berekend waar mogelijk ( $n > 2$ ).

**Tabel 8** De gemiddelde ammoniakemissies en de standaardafwijking (spreiding tussen gemiddeldes van de datasets) voor huisvestingssystemen van vleesvarkens

Systeem	Rav-code (VROM, 2002)	Aantal locaties	Aantal datasets	Emissie Rav <sup>(*)</sup> (kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> )	Gemeten emissie <sup>(*)</sup> (kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> )
Conventioneel	D3.4.1	9	13	2,5	2,9 ± 1,0
	D3.4.2	3	5	3,5	3,1 ± 1,1
Koeldek	D3.2.3.2	1	1	2,0	3,7 ± (**)
	D3.2.6.1	2	6	1,2	1,3 ± 0,6
	---	1	2	---	1,6 ± (**)
	D3.2.6.2.2	2	4	2,0	1,8 ± 1,4
Spoelgoten	D3.2.12.1	2	4	1,0	1,4 ± 0,5
	D3.2.13.1	4	9	1,2	1,8 ± 0,9
	D3.2.13.2	1	2	1,5	1,7 ± (**)
IC-V	D3.2.7.1.1	2	3	1,0	1,9 ± 0,8
	D3.2.7.1.2	3	4	1,4	1,8 ± 0,4
	---	1	6	1,0-1,5	0,8 ± 0,1

(\*) 10% leegstand; (\*\*) kan niet geschat worden door te beperkt aantal metingen

In Bijlage A worden de omschrijvingen en de emissiefactoren van stalsystemen gegeven behorende bij de Rav-codes en bijlage B wordt gedetailleerde informatie over de verschillende gemeten stallen weergegeven. Tabel 8 geeft aan dat de gemeten emissieniveaus hoger liggen dan de opgenomen waarden in de Rav lijst. De spreiding tussen de resultaten is echter groot waardoor de Rav-waarden in het algemeen wel binnen de bandbreedte van de gemeten emissies vallen. Het emissieverschil kan uitgedrukt worden t.o.v. het conventionele systeem met vergelijkbaar leefoppervlakte (hokoppervlakte respectievelijk kleiner/gelijk of groter dan 0.8 m<sup>2</sup>), uitgedrukt als percentage van het betreffende conventionele systeem. De verschillen tussen de waarden van de Rav-lijst zijn in het algemeen groter dan de verschillen tussen de metingen. Een vergelijking voor alle systemen wordt in tabel 9 weergegeven.

**Tabel 9** Emissieverschil (%) van huisvestingssystemen t.o.v. conventioneel (vleesvarkens) met gelijk leefoppervlak, binnen de Rav-lijst en binnen de lijst van gemeten emissies

Huisvestingssysteem	Rav-code	Rav-lijst (VROM, 2002)	Gemeten emissies
Koeldek	D3.2.3.2	-43	+28
	D3.2.6.1	-52	-55
	D3.2.6.2.2	-20	-38
Spoelgoten	D3.2.12.1	-60	-52
	D3.2.13.1	-52	-38
	D3.2.13.2	-57	-45
IC-V	D3.2.7.1.1	-60	-34
	D3.2.7.1.2	-60	-42

De waarden in tabellen 8 en 9 zijn niet gecorrigeerd voor ronde- en debieteffecten. Eerder lieten de modelanalyses in Tabel 7 zien dat deze variabelen een aanzienlijk effect hebben op de binnen-bedrijfvariatie. Aangezien met name de datasets uit het PYTHIA-onderzoek voor deze variabelen van het praktijkgemiddelde kunnen afwijken, is een goede vergelijking tussen huisvestingssystemen beter uit te voeren door voor deze variabelen te corrigeren in een statistisch model, zoals beschreven in 2.2.3. Om tot zinvolle resultaten te komen kan er in deze analyse alleen een onderscheid gemaakt worden tussen stalsystemen volgens de hoofdprincipes en niet volgens de Rav-codering. Op deze wijze kunnen per huisvestingssysteem voldoende herhalingen op locatieniveau worden gecreëerd.

De resultaten van deze analyse worden in tabellen 10 en 11 gepresenteerd voor de modellen 1 t/m 4, en vergeleken met de ongecorrigeerde gemiddelde emissie. De IC-V systemen geven de meeste emissiereductie, maar het verschil tussen de drie emissiereducerende hoofdprincipes is gering. Uit tabel 11 blijkt dat ook voor de gecorrigeerde gegevens de gemeten emissiereducties geringer zijn dan in de Rav.

**Tabel 10** De gemiddelde ammoniakemissie van vleesvarkens (kg.dpl<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup>) per emissiereducerend hoofdprincipe en de verwachtingswaarden van de ammoniakemissies (kg.dpl<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup>) onderscheiden naar vier statistische modellen per emissiereducerende hoofdprincipe

Huisvestings-systeem	Gemiddelde	Model 1 (geen co-variabel)	Model 2 (proefdag)	Model 3 (debiet)	Model 4 (proefdag en debiet)
Conventioneel	3,0	3,5	3,3	2,8	3,0
Koeldek	1,8	2,3	2,2	1,9	2,0
Spoelgoten	1,7	2,3	2,1	2,4	2,1
IC-V	1,4	2,0	1,8	1,7	1,8

**Tabel 11** Emissieverschil (%) van emissiereducerende hoofdprincipes t.o.v. conventioneel bij vier statistische modellen

Huisvestings-systeem	Gemiddelde	Model 1 (geen co-variabel)	Model 2 (proefdag)	Model 3 (debiet)	Model 4 (proefdag en debiet)
Conventioneel	----	----	----	----	----
Koeldek	-38	-34	-33	-31	-32
Spoelgoten	-43	-36	-38	-17	-30
IC-V	-51	-45	-45	-40	-41

REML biedt ook de mogelijkheid om te toetsen bij welke nauwkeurigheid (hoofd)systemen te onderscheiden zijn. De kans dat twee (hoofd)systemen van elkaar verschillen wordt in tabel 12 weergegeven. Bij een 5% significantiegrens ( $P < 0,05$ ), zijn alleen IC-V systemen te onderscheiden van conventionele stallen. Bij een significantiegrens van 10% zijn ook koeldek en spoelgoten systemen te onderscheiden van conventionele stallen. Emissiereductie systemen onderling (koeldek, spoelgoten, IC-V) zijn niet van elkaar te onderscheiden ( $P > 0,10$ ). Dit geeft als logisch gevolg dat de subsystemen binnen een emissiereducerende hoofdprincipe (Rav-lijst) ook niet van elkaar zijn te onderscheiden.

**Tabel 12** Kans behorende bij de hypothese dat de ammoniakemissieniveaus van huisvestingsystemen niet van elkaar verschillen (t-toets)

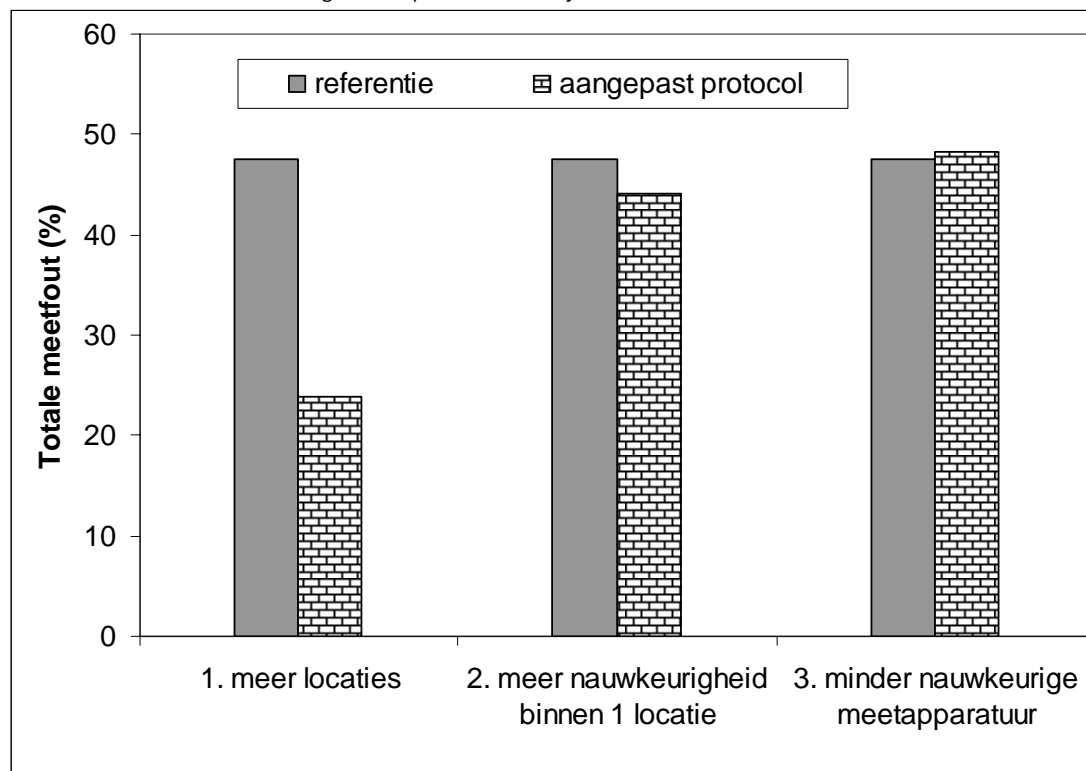
	Conventioneel	Spoelgoten	Koeldek	IC-V
Conventioneel	*			
Spoelgoten	0,08	*		
Koeldek	0,09	0,93	*	
IC-V	0,01	0,63	0,56	*

### 3.4 Effecten aanpassing meetprotocol op nauwkeurigheid

Op basis van de analyse van de variatiestructuur van emissiedata is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met als referentie een meetprotocol gebaseerd op één bedrijfslocatie en 6 meetdagen verspreid over het jaar. Figuur 7 laat de verschillende effecten zien wanneer het referentie-meetprotocol wordt gewijzigd in:

- Analyse 1. uitbreiding van het aantal bedrijfslocaties van 1 naar 4
- Analyse 2. verhoging van de nauwkeurigheid op binnen-bedrijfniveau door van 6 meetdagen over te stappen naar 225 meetdagen, overeenkomend met een continue meetreeks
- Analyse 3. gebruikmaking van minder nauwkeurig meetapparatuur (van 5% meetfout voor de referentie naar 20%).

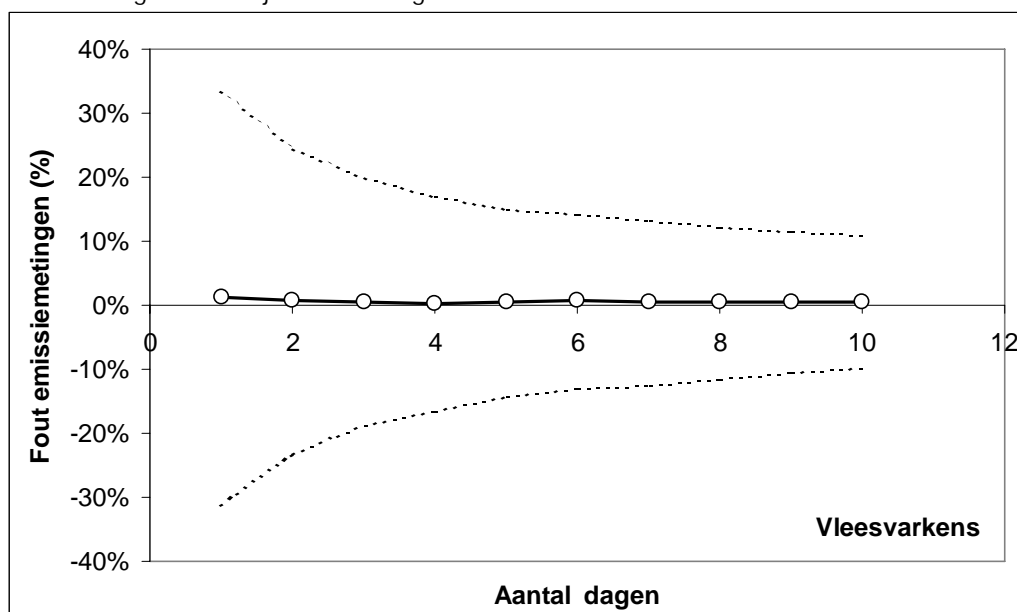
**Figuur 7** Gevoeligheidsanalyse van de effecten van aantal locaties, aantal meetdagen en nauwkeurigheid meetapparatuur op de totale meetfout uitgedrukt t.o.v. een referentie-protocol gebaseerd op één locatie en zes meetdagen verspreid over het jaar



Het gebruik van minder nauwkeurig meetapparatuur heeft nauwelijks effect op de totale meetfout. Meer metingen binnen een locatie en daardoor een grotere meetnauwkeurigheid binnen een locatie hebben een relatief gering effect op de totale meetfout. Dit wordt veroorzaakt door het dominante effect van de tussen-bedrijfvariatie op de totale meetfout. Gegeven de grote tussen-bedrijfvariatie is een toename van het aantal gemeten locaties zeer effectief in het verbeteren van de eindnauwkeurigheid. Een toename van 1 naar 4 bedrijfslocaties leidt tot een reductie van de totale meetfout met een factor 2.

Het effect van het aantal meetdagen in een meetperiode op de meetnauwkeurigheid is eveneens onderzocht door middel van een bemonsteringssimulatiestudie. De simulaties werden voor verschillende aantallen monsterdagen uitgevoerd, vanaf één bemonsteringsdag tot tien dagen. De resultaten van deze analyse worden in figuur 8 weergegeven. Hoewel de standaard deviatie voor 10 bemonsteringsdagen (~10%) uiteraard lager is dan bijvoorbeeld voor 3 dagen (~20%) of 6 dagen (~15%), staat daar tegenover dat de kosten toenemen met het aantal metingen. Het antwoord op de vraag "Welke nauwkeurigheid is gewenst voor het vaststellen van  $\text{NH}_3$ -emissiefactoren" zal uiteindelijk bepaald worden door een aanvaardbare verhouding tussen meetkosten en gevraagde nauwkeurigheid.

**Figuur 8** Standaarddeviatie (%) van de geschatte emissie bij een olopend aantal meetdagen, die aselekt getrokken zijn uit evenredig over de ronde verdeelde intervallen



Deze simulatiestudie beperkt zich tot de afwijking van de geselecteerde waarnemingen t.o.v. het overall gemiddelde van alle waarnemingen in de datasets. Het geeft hiermee een indruk van de nauwkeurigheid waarmee het bedrijfsniveau kan worden geschat. Voor de schatting van het niveau van een huisvestingssysteem dient echter ook rekening te worden gehouden met de tussen-bedrijfvariatie. Deze zitten hierin niet verdisconteerd.

### 3.5 Conclusies

De conclusies die uit dit onderzoek voor vleesvarkens kunnen worden getrokken zijn onder te verdelen in 3 categorieën:

#### 1. Variatiestructuur ammoniakemissie vleesvarkens

- Het verloop van de ammoniakemissie in een productieronde heeft een rechtlijnig karakter, en neemt per dag met 1% van de gemiddelde rondewaarde toe. De emissie aan het eind van de ronde is gelijk aan driemaal de emissie bij de start. De standaarddeviatie van de dagwaarden van de emissie bedraagt gemiddeld 20% van het niveau van de betreffende dag.
- De resultaten laten geen seizoenseffect zien. Omdat het aantal beschikbare datasets/meetdagen met de verschillende huisvestingssystemen niet evenredig verdeeld is over het gehele jaar, bestaat de mogelijkheid dat het seizoenseffect hierdoor wordt vertekend of gemaskeerd. Evenredig over het jaar verdeelde data zijn gewenst om hierover gefundeerde conclusies te kunnen trekken.
- De variatie in emissie tussen dagen binnen een ronde kan worden verklaard met een (lineair) regressie model dat zowel de dag in de productieronde als het debiet als verklarende variabelen gebruikt.
- De dagwaarden van de ammoniakemissie van een huisvestingssysteem vertonen een aanzienlijke spreiding, zowel binnen één bedrijf als tussen verschillende bedrijven met hetzelfde huisvestingssysteem. De geschatte variantiecomponenten voor binnen- en tussen-bedrijfvariatie hebben, na verdiscontering van de effecten voor ronde-dag en debiet, een orde van grootte van respectievelijk 30 en 40% van het gemiddelde emissieniveau van een systeem (Tabel 7).

#### 2. Nauwkeurigheid emissiefactoren

- Bij een 5% significantiegrens (95% betrouwbaarheid), zijn alleen IC-V systemen te onderscheiden van conventionele stallen. Bij een significantiegrens van 10% zijn ook koeldek en spoelgoten systemen te onderscheiden van conventionele stallen. Emissiereducerende systemen (koeldek, spoelgoten, IC-V) zijn bij een 90-95% betrouwbaarheid niet van elkaar te onderscheiden.
- Vanuit een statistisch perspectief is een onderverdeling naar de verschillende Rav-huisvestingssystemen binnen een specifieke hoofdprincipe niet gerechtvaardigd aangezien de geschatte emissieniveaus voor de gedefinieerde hoofdprincipes niet altijd van elkaar zijn te onderscheiden.



3. Nauwkeurigheid aangepast meetprotocol

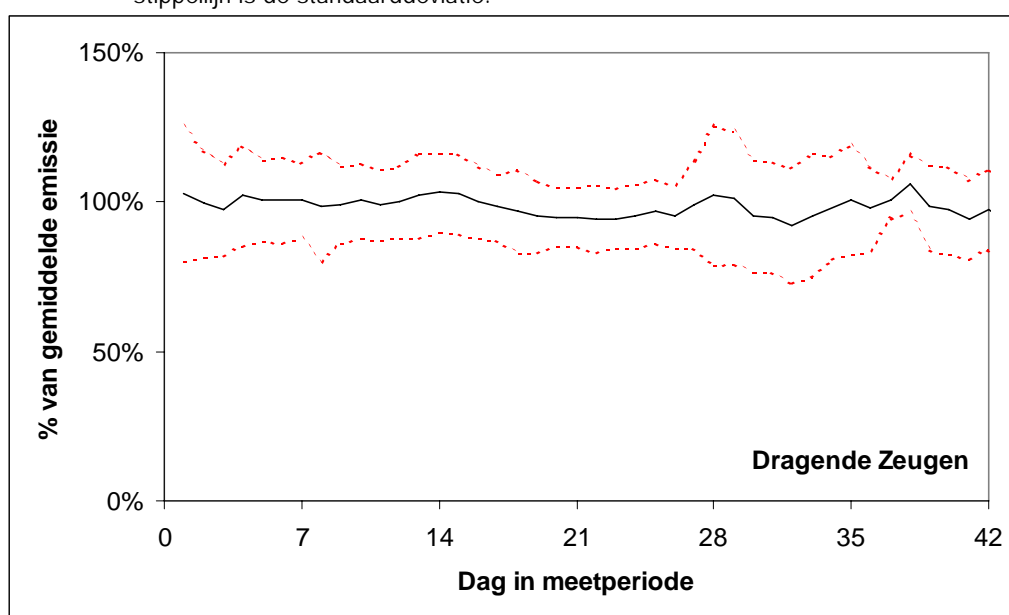
- Om de totale meetfout voor de emissiefactor van een huisvestingssysteem onder het niveau van de tussen-bedrijfvariatie te brengen dient op meerdere bedrijfslocaties gemeten te worden. Een aanvaardbare verhouding tussen meetkosten en beleidsmatig geaccepteerde meetfout bepaalt het gewenste aantal meetlocaties.

## 4 Dragende zeugen

### 4.1 Emissiepatronen

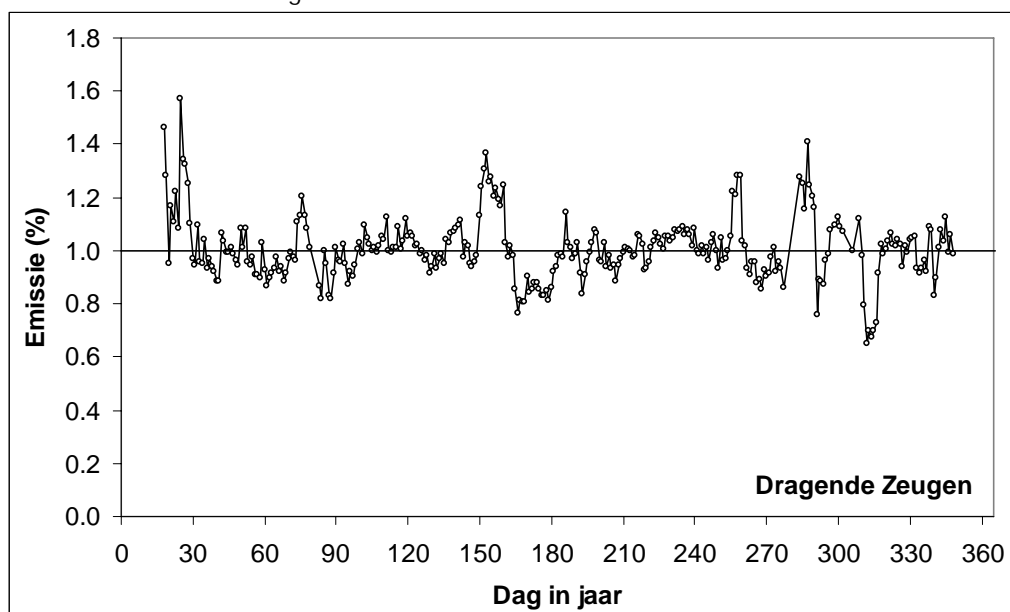
In tegenstelling tot vleesvarkens, kent de diercategorie dragende zeugen geen groeicyclus met daaraan gekoppelde emissiepatronen. Dit komt ook naar voren uit de analyse van de voor deze diercategorie beschikbare datasets. Deze datasets beslaan in het algemeen meetperiodes van 6 weken (in het huidige Rav-meetprotocol dient een meetperiode minimaal een maand te beslaan). Figuur 9 laat zien dat de emissie constant blijft over het gehele meetperiode. De standaarddeviatie rond de berekende gemiddelde emissie varieert in de bandbreedte 10-20%. Deze spreiding is het gevolg van omgevingsfactoren die in de tijd variëren zoals stalklimaat, debiet en management. Analyse van de effecten van de dag in de meetperiode op de ammoniakemissie met behulp van lineaire regressiemodellen laten, zoals verwacht mag worden, geen relatie tussen meetdag en emissie zien.

**Figuur 9** Verloop van het % van de gemiddelde emissie vs. dag in de meetperiode voor dragende zeugen. De stippellijn is de standaarddeviatie.

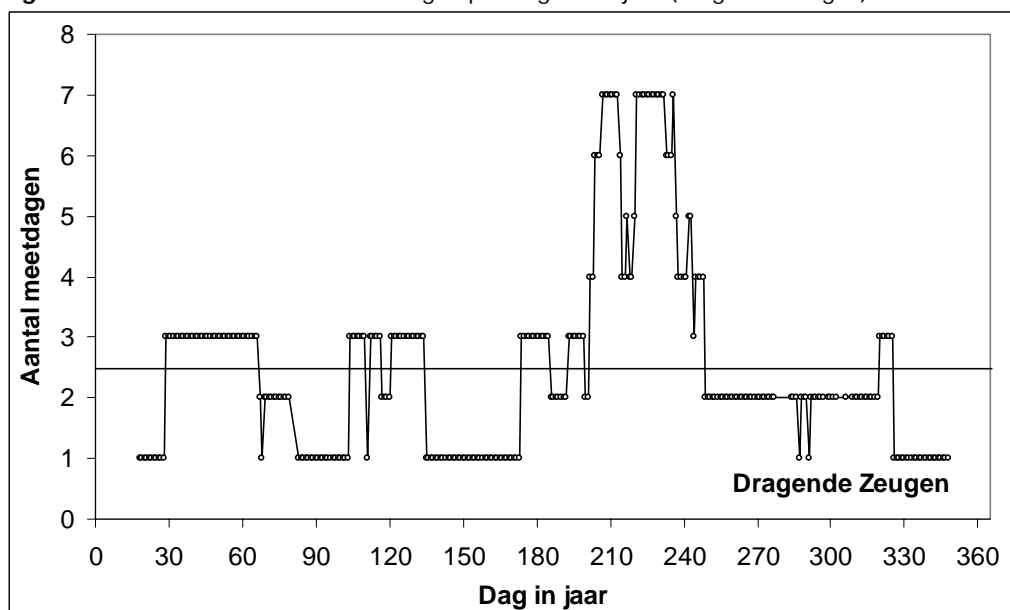


De resultaten van de analyse voor het bepalen van de seizoenseffecten leidt tot dezelfde conclusie als voor de vleesvarkens diercategorie: er is geen echte seizoenspatroon te zien (figuur 10). Het aantal beschikbare meetdagen/datasets is echter vrij beperkt, en, evenals in de analyse voor vleesvarkens, niet evenredig over het gehele jaar verdeeld (figuur 11). Ook voor deze diergroep kan op basis van de beschikbare datasets geen duidelijke conclusie t.a.v. het wel of niet optreden van seizoenseffecten worden getrokken.

**Figuur 10** Fluctuatie van de ammoniakemissie van dragende zeugen door het jaar uitgedrukt als percentage van de overall gemiddelde emissie



**Figuur 11** Aantal beschikbare meetdagen per dag in het jaar (dragende zeugen)



#### 4.2 Variatiestructuur bij emissiemetingen

In tabel 13 staan de resultaten vermeld van de statistische analyse op de variatiestructuur in de emissiemetingen aan de diercategorie dragende zeugen. Aangezien de dag waarin metingen werden uitgevoerd geen bijdrage levert aan het verklaren van variatie, zijn enkel de statistische modellen 1 en 3 (hoofdstuk 2.2.3) in tabel 13 opgenomen. Tabel 13 laat zien dat, net als voor vleesvarkens, de tussen-bedrijfvariatie aanzienlijk is. Daarmee speelt het ook een belangrijke rol in de totale meetfout van het huidige meetprotocol. Uitgaande van het bemeten van één bedrijfslocatie voor een huisvestingssysteem betekent dit een meetfout (standaarddeviatie) die voor dragende zeugen tussen 30-35% (0.30 ln-eenheden) ligt. Dit is lager dan de meetfout voor vleesvarkens. De binnenbedrijf spreiding tussen daggemiddeldes bedraagt ca. 20-25% (0.20 ln-eenheden) en is daarmee niet veel afwijkend van de schatting voor de vleesvarkencategorie, waar deze spreiding na correctie voor rondedag en debiet ca. 30% bedroeg. Het effect van debiet op de emissie is beperkt en levert bij toevoeging in het model een iets geringere binnenbedrijf variatie op.

**Tabel 13** Geschatte variantiecomponenten bij ammoniakemissiemetingen voor 2 modellen (dragende zeugen) zoals beschreven in 2.2.3

Variatiebronnen	Model 1 (geen co-variabel)	Model 3 (debiet)
$\sigma^2(L_i)$	0,01	0,01
$\sigma^2(L_i, S)$	0,08	0,07
$\sigma^2(R_{ij})$	0,05	0,04
$\sigma_{\text{tussen}}$	0,30	0,30
$\sigma_{\text{binnen}}$	0,22	0,20

### 4.3 Emissieniveaus

De gemiddelde ammoniakemissie en de spreiding tussen datasets per huisvestingssysteem voor dragende zeugen worden in tabel 14 gepresenteerd, evenals de in de Rav-lijst vastgestelde emissiefactoren. Meer uitgebreide informatie over de Rav-emissies en over de bemeten stallen voor dragende zeugen wordt in bijlage A en bijlage B weergegeven. Tabel 14 laat een grote spreiding tussen de per huisvestingssysteem beschikbare gemiddeldes van de dataset zien. Zoals voor vleesvarkens, zijn de gemiddeldes van de metingen ook hier over het algemeen hoger dan die vastgesteld in de Rav. De Rav-waarden liggen i.h.a. wel binnen de bandbreedte van éénmaal de standaardafwijking van de gemiddelde waarden. Het emissieverschil t.o.v. conventionele stallen, uitgedrukt als percentage van de emissie van conventionele stallen, wordt in tabel 15 weergegeven voor de Rav lijst en de gemeten emissies.

**Tabel 14** Gemiddelde ammoniakemissie en de standaardafwijking (spreiding tussen gemiddelden van de datasets) per huisvestingssysteem voor dragende zeugen

Systeem	Rav-code (VROM, 2002)	Aantal locaties	Aantal Datasets	Emissie Rav <sup>(*)</sup> (kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> )	Gemeten emissie <sup>(*)</sup> (kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> )
Conventioneel	D1.3.12	14	21	4.2	4,0 ± 0,9
	D1.3.13	3	7	4.2	4,4 ± 1,8
Koeldek	D1.3.8.1	4	5	2.2	2,4 ± 1,1
	D1.3.8.2	2	3	2.2	3,3 ± 0,4
Spoelgoten	D1.3.3	4	13	2.5	2,9 ± 0,4
Delvris	D1.3.1	4	5	2.4	1,9 ± 0,8

<sup>(\*)</sup> 5% leegstand

**Tabel 15** Emissieverschil (%) van huisvestingssystemen t.o.v. conventioneel (dragende zeugen) binnen de Rav-lijst en binnen de lijst van gemeten emissies

Huisvestingssysteem	Rav-code	Rav-lijst (VROM-2002)	Gemeten emissies
Koeldek	D1.3.8.1	-48	-(40-45)*
	D1.3.8.2	-48	-25
Spoelgoten	D1.3.3	-40	-(28-34)*
Delvris	D1.3.1	-43	-53

<sup>(\*)</sup> de reductie is uitgerekend t.o.v. individuele en groepshuisvesting

De waarden in tabel 14 zijn niet gecorrigeerd voor bedrijfslocatie-effecten en houden geen rekening met het verschil in aantallen waarnemingen tussen datasets. Mogelijke effecten van co-variabelen die verschillen per huisvestingssysteem (b.v. debiet) kunnen eveneens een zuivere vergelijking van de systemen beïnvloeden. Een goede inschatting van de emissieniveaus van huisvestingssystemen is beter uit te voeren m.b.v. een statistisch model, zoals beschreven in 2.2.3. Een dergelijke modelbenadering maakt tevens een statistische toetsing van verschillen mogelijk. Om tot zinvolle resultaten te komen kan er in deze analyse alleen een onderscheid gemaakt worden tussen stalsystemen volgens de hoofdprincipes en niet volgens de Rav-codering. Op deze wijze kunnen per huisvestingssysteem voldoende herhalingen op locatieniveau worden gecreëerd. De resultaten van deze analyse worden in tabel 16 en 17 gepresenteerd en vergeleken met de ongecorrigeerde gemiddelde emissie van

de hoofdprincipes. De sterkste emissiereductie t.o.v. conventionele huisvesting wordt gerealiseerd met delvris (oppervlaktereductie). Koeldek en spoelgoten leiden tot (ongeveer) dezelfde emissiereductie.

**Tabel 16** De gemiddelde ammoniakemissie van dragende zeugen ( $\text{kg.dpl}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$ ) per emissiereducerend hoofdprincipe en de verwachtingswaarden van de ammoniakemissies ( $\text{kg.dpl}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$ ) onderscheiden naar de statistische modellen 1 en 3 per emissiereducerende hoofdprincipe

Huisvestingssysteem	Gemiddelde	Model 1 (geen co-variabel)	Model 3 (debit)
Conventioneel	4,1	4,4	4,4
Koeldek	2,7	2,8	3,0
Spoelgoten	2,9	3,3	3,3
Delvris	1,9	2,0	1,9

**Tabel 17** Emissieverschil (%) van emissiereducerend hoofdprincipe t.o.v. conventioneel bij Model 1 en 3

Huisvestingssysteem	Gemiddelde	Model 1 (geen co-variabel)	Model 3 (debit)
Conventioneel	---	---	--
Koeldek	-33	-35	-31
Spoelgoten	-29	-25	-25
Delvris	-53	-55	-57

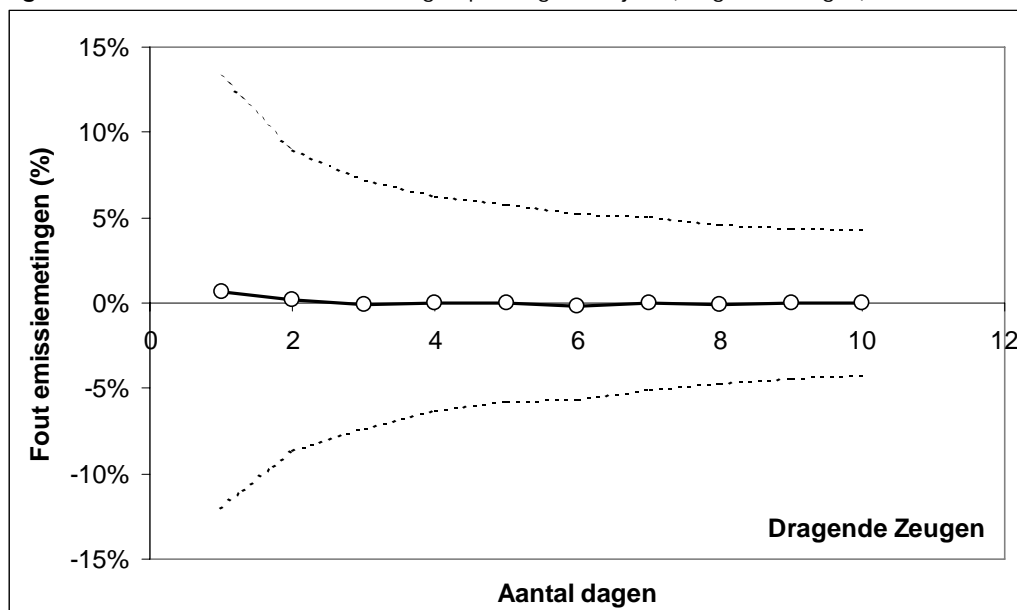
Een t-toets op de significantie van verschillen tussen de emissiereducerende hoofdprincipes (tabel 18) leidt tot de conclusie dat alleen delvris en koeldek te onderscheiden zijn van conventionele stallen ( $P < 0,05$ ). Delvris heeft een significant lagere emissie ( $P < 0,05$ ) dan de andere twee emissiereducerende hoofdprincipes. Koeldek en spoelgoten zijn niet van elkaar te onderscheiden ( $P > 0,10$ ). Dit geeft als logisch gevold dat de subsystemen binnen een emissiereducerend hoofdprincipe (Rav-lijst) ook niet van elkaar zijn te onderscheiden.

**Tabel 18** Kans behorende bij de hypothese dat de ammoniakemissieniveaus van huisvestingsystemen niet van elkaar verschillen (t-toets)

	Conventioneel	Spoelgoten	Koeldek	Delvris
Conventioneel	*			
Spoelgoten	0,11	*		
Koeldek	0,01	0,63	*	
Delvris	0,00	0,01	0,02	*

#### 4.4 Effecten aanpassing meetprotocol op nauwkeurigheid

Het effect van het aantal meetdagen in een meetperiode op de meetnauwkeurigheid is onderzocht door middel van een bemonsterings-simulatiestudie. Op alle beschikbare datasets met continue meetreeksen (uit het Rav-onderzoek) werden bemonsteringssimulaties uitgevoerd. De simulaties werden voor verschillende aantallen monsterdagen uitgevoerd, vanaf één bemonsteringsdag tot tien dagen (zie 3.4). De resultaten van deze analyse worden in figuur 12 weergegeven.

**Figuur 12** Aantal beschikbare meetdagen per dag in het jaar (dragende zeugen)

Standaarddeviatie (%) van de geschatte emissie bij een oplopend aantal meetdagen, die aselekt getrokken zijn uit evenredig over de meetronde verdeelde intervallen

De standaarddeviatie voor 10 bemonsteringsdagen was ca. 5%, ca. 6% voor 6 dagen en ca 8% voor 3 dagen. Ten opzichte van vleesvarkens kan met een geringer aantal bemonsteringsdagen een gelijkwaardige meetnauwkeurigheid worden bereikt. Dit is te verklaren uit het gegeven dat bij dragende zeugen sprake is van een statisch emissiepatroon met een geringe variatie tussen de dagen in de meetperiode.

#### 4.5 Conclusies

De conclusies die uit dit onderzoek voor de diercategorie dragende zeugen kunnen worden getrokken zijn onder te verdelen in 3 categorieën:

##### 1. Variatiestructuur ammoniakemissie:

- Het verloop van de ammoniakemissie in een meetronde bevat een aanzienlijke spreiding. Er is een beperkt effect van debiet gevonden.
- De resultaten laten geen seizoenseffect zien. Omdat het aantal beschikbare datasets/meetdagen met de verschillende huisvestingssystemen niet evenredig verdeeld is over het gehele jaar, bestaat de mogelijkheid dat het seizoenseffect hierdoor wordt vertekend of gemaskeerd. Evenredig over het jaar verdeelde data zijn gewenst om hierover gefundeerde conclusies te kunnen trekken.
- De dagwaarden van de ammoniakemissie van een huisvestingssysteem vertonen een aanzienlijke spreiding, zowel binnen één bedrijf als tussen verschillende bedrijven met hetzelfde huisvestingssysteem. De geschatte variantiecomponenten voor binnen- en tussen-bedrijfvariatie hebben een orde van grootte van respectievelijk 20-25 en 30% van het gemiddelde emissieniveau van een systeem (Tabel 13).

##### 2. Nauwkeurigheid emissiefactoren:

- Een t-toets op de significantie van verschillen tussen de emissiereducerende hoofdprincipes (tabel 18) geeft als resultaat dat alleen delvris en koeldek te onderscheiden zijn van conventionele stallen ( $P < 0,05$ ). Koeldek en spoelgoten zijn niet van elkaar te onderscheiden ( $P > 0,10$ ). Delvris heeft een significant lagere emissie ( $P < 0,05$ ) dan de andere twee emissiereducerende hoofdprincipes.
- Vanuit een statistisch perspectief is een onderverdeling naar de verschillende Rav-huisvestingssystemen binnen een specifiek hoofdprincipe niet gerechtvaardigd aangezien de geschatte emissieniveaus voor de gedefinieerde hoofdprincipes niet altijd van elkaar zijn te onderscheiden.

3. Nauwkeurigheid aangepast meetprotocol:

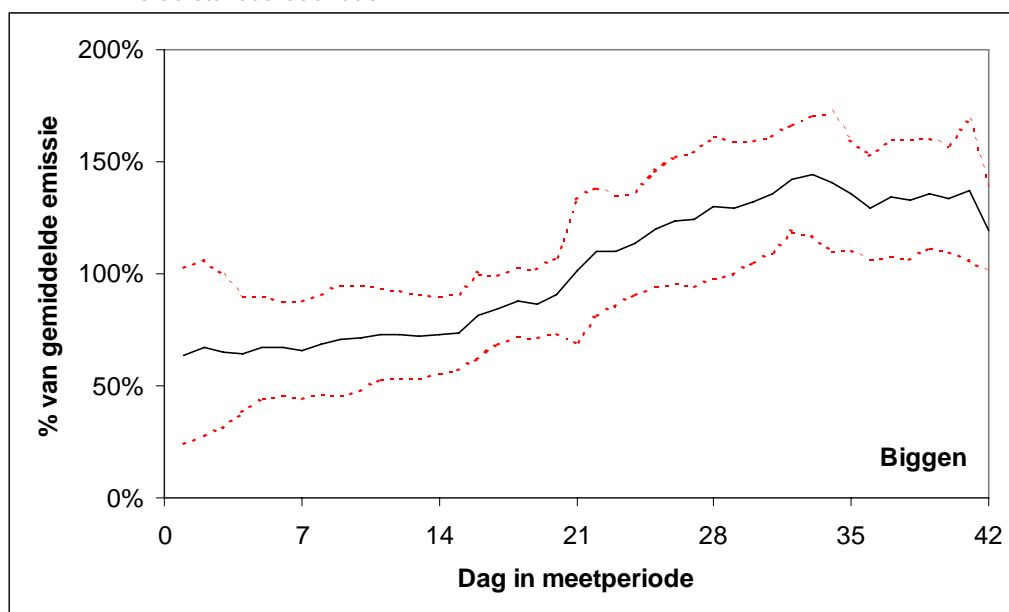
- Om de totale meetfout voor de emissiefactor van een huisvestingssysteem onder het niveau van de tussen-bedrijfvariatie te brengen dient op meerdere bedrijfslocaties gemeten te worden. Een aanvaardbare verhouding tussen meetkosten en beleidsmatig geaccepteerde meetfout bepaalt het gewenste aantal meetlocaties.

## 5 Biggen

### 5.1 Emissiepatronen

Volgens de Beoordelingsrichtlijn Groen Label (1996) dienen de koppels in de diercategorie biggen een gemiddeld startgewicht tussen 8 en 13 kg te hebben (80% van de individuele dieren dient binnen dit gewichtstraject vallen), en een gemiddeld eindgewicht tussen 22 en 28 kg (80% van de individuele dieren dient binnen dit gewichtstraject vallen). Biggen hebben een groeitraject van ongeveer 6 weken. Het relatieve verloop van de ammoniakemissie uitgedrukt t.o.v. het rondegemiddelde wordt in figuur 13 weergegeven. Evenals voor de diercategorie vleesvarkens neemt de emissie bij benadering rechtlijnig toe in de meetronde, zij het dat het verband minder regelmatig is dan bij vleesvarkens. Ook hier komt een aanzienlijke spreiding voor t.o.v. de gemiddelde ontwikkeling in de ronde.

**Figuur 13** Verloop van het % van de gemiddelde emissie vs. dag in ronde (groeicycli) voor biggen. De stippellijn is de standaarddeviatie

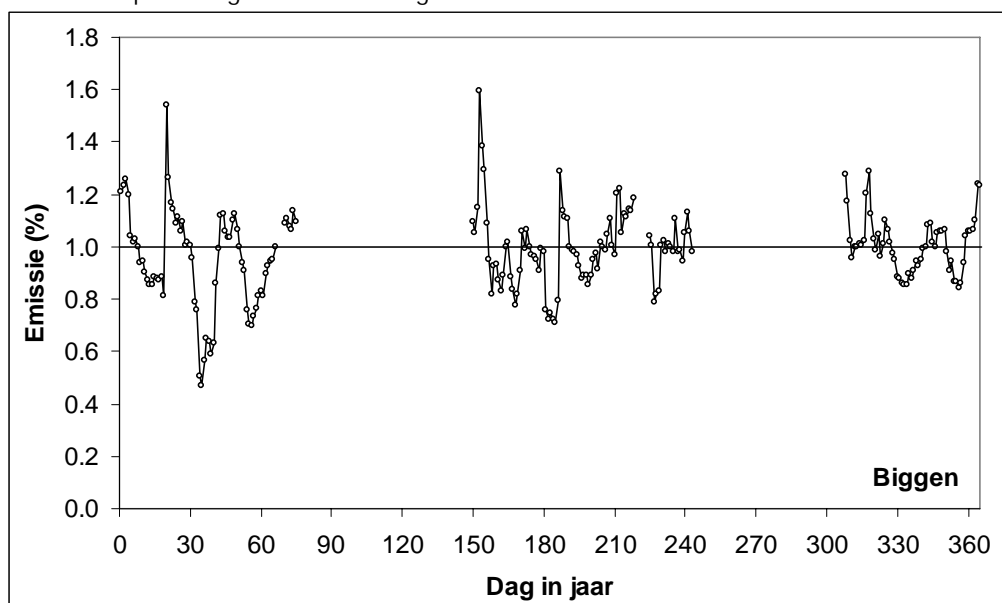


Statistische analyse van de effecten van de dag in de ronde/diergewicht laat zien dat in de beschikbare datasets gemiddeld 70% van de spreiding in de ronde kan worden verklaard door de dag in de ronde. Wanneer het ventilatiedebiet als verklarende variabele wordt toegevoegd, stijgt de verklaarde spreiding tot gemiddeld 85%. De buitentemperatuur voegt weinig extra verklaring toe.

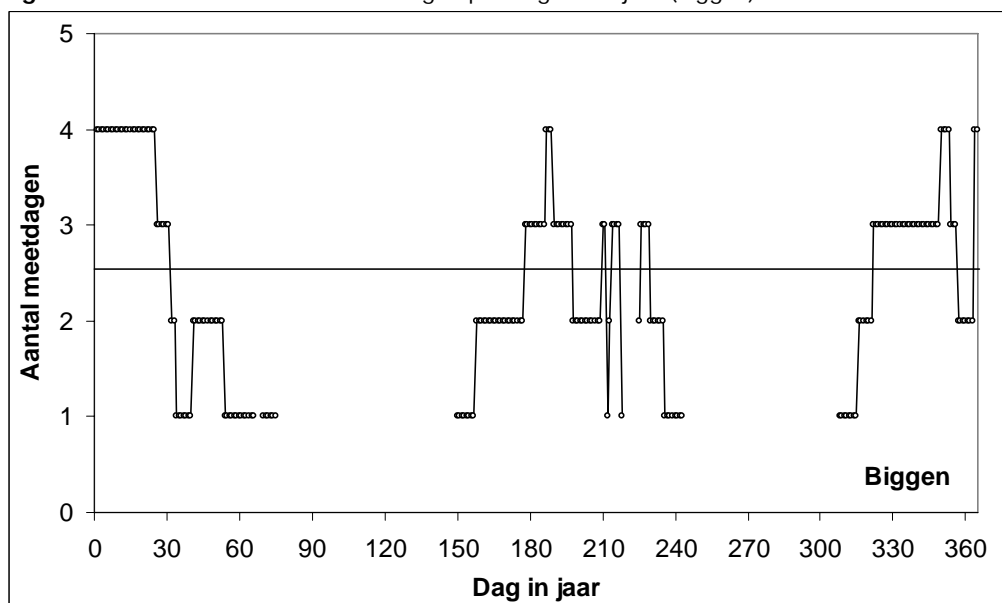
Wanneer de data gecorrigeerd wordt door de emissie in de ronde, is geen seizoenspatroon zichtbaar (figuur 14). Net als voor de hiervoor behandelde diercategorieën is er geen gebalanceerde spreiding van de datasets over het jaar en kunnen over het optreden van seizoenseffecten geen sluitende uitspraken worden gedaan (figuur 15).



**Figuur 14** Fluctuatie van de ammoniakemissie van de diercategorie biggen door het jaar uitgedrukt als percentage van de overall gemiddelde emissie



**Figuur 15** Aantal beschikbare meetdagen per dag in het jaar (biggen)



## 5.2 Variatiestructuur bij emissiemetingen

Om de aanzienlijke variatie tussen metingen in de datasets beter inzichtelijk te maken is een statistische analyse uitgevoerd. Het doel van deze analyse is het verkrijgen van inzicht in de variatie binnen en tussen locaties. In tabel 19 staan de resultaten voor de modelvarianten (zie hoofdstuk 2.2.3) weergegeven. Alle toegepaste statistische modellen tonen een aanzienlijke tussen-bedrijfvariatie ( $\sigma_{\text{tussen}}$ ) die groter is dan de binnenbedrijf variatie ( $\sigma_{\text{binnen}}$ ). De tussen-bedrijfvariatie is hierbij uitgedrukt in een huisvestingsonafhankelijke tussen-bedrijfcomponent ( $\sigma^2(L_i)$ ) en de interactie van deze component met huisvestingssysteem ( $\sigma^2(L_i, S)$ ). De totale tussen-bedrijfvariantie is de som van deze componenten. De wortel uit deze som ( $\sigma_{\text{tussen}}$ ) is een maat voor de spreiding tussen bedrijven. Omdat deze staat uitgedrukt in ln-eenheden kunnen deze grootheden (keer honderd) bij benadering als een proportionele spreidingsmaat in procenten worden geïnterpreteerd. Het toevoegen van co-variabelen, proefdag (model 2), debiet (model 3) of een combinatie van beide (model 4) verkleint de binnen-bedrijfvariatie van 0,49 naar 0,28, maar heeft een veel geringer effect op de tussen-bedrijfvariatie die van 0,62 naar 0,57 afneemt.

**Tabel 19** Geschatte variatiecomponenten bij ammoniakemissiemetingen (biggen) voor vier verschillende modellen, zoals beschreven in 2.2.3

Variatiebronnen	Model 1 (geen co-variabel)	Model 2 (proefdag)	Model 3 (debiet)	Model 4 (proefdag en debiet)
$\sigma^2(L_i)$	0,24	0,19	0,24	0,20
$\sigma^2(L_i, S)$	0,14	0,14	0,13	0,13
$\sigma^2(R_{ij})$	0,24	0,12	0,10	0,08
$\sigma_{tussen}$	0,62	0,57	0,60	0,57
$\sigma_{binnen}$	0,49	0,35	0,32	0,28

### 5.3 Emissieniveaus

De gemiddelde ammoniakemissie en de spreiding tussen datasets per huisvestingssysteem voor biggen worden in tabel 20 gepresenteerd, evenals de in de Rav-lijst vastgestelde emissiefactoren. Meer uitgebreide informatie over de Rav-emissies en over de bemeten stallen voor biggen wordt in bijlage A en bijlage B gegeven. Tabel 20 laat een grote spreiding in de ammoniakemissie metingen per huisvestingssysteem zien. Net als voor vleesvarkens en dragende zeugen zijn de gemeten emissies over het algemeen hoger dan die vastgesteld in de Rav. In tegenstelling tot de hiervoor behandelde diercategorieën, liggen de Rav-emissies voor biggen niet voor alle huisvestingssystemen binnen de bandbreedte van de gemeten emissies. Het emissieverschil t.o.v. conventionele stallen, uitgedrukt als percentage van conventionele stallen, wordt in tabel 21 weergegeven voor de Rav-lijst en de gemeten emissies.

**Tabel 20** De gemiddelde ammoniakemissies en de standaardafwijking (spreiding tussen de gemiddeldes van de datasets) per huisvestingssysteem voor biggen

Systeem	Rav-code (VROM, 2002)	Aantal locaties	Aantal datasets	Emissie Rav <sup>(*)</sup> (kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> )	Gemeten emissie <sup>(*)</sup> (kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> )
Conventioneel	D1.1.15.1	4	10	0,60	0,65 ± 0,22
	D1.1.15.2	2	3	0,75	0,80 ± 0,83
Koeldek	D1.1.11.1	1	1	0,15	0,39 ± (**)
	D1.1.11.2	2	3	0,19	0,32 ± 0,04
Spoelgoten	D1.1.2.1	2	4	0,21	0,91 ± 0,83
	D1.1.2.2	1	4	0,27	0,47 ± 0,18
Mestgoot	D1.1.3.1	2	4	0,13	0,32 ± 0,04
	D1.1.3.2	1	2	0,16	0,33 ± (**)

(\*) 10% leegstand; (\*\*) kan niet geschat worden door te beperkt aantal metingen

**Tabel 21** Emissieverschil (%) van huisvestingssystemen t.o.v. conventioneel (biggen) binnen de Rav-lijst en binnen de lijst van gemeten emissies

Huisvestingssysteem	Rav-code	Rav-lijst (VROM, 2002)	Gemeten emissies
Koeldek	D1.1.11.1	-75	-51
	D1.1.11.2	-75	-59
Spoelgoten	D1.1.2.1	-65	+40
	D1.1.2.2	-64	-41
Mestgoot	D1.1.3.1	-78	-51
	D1.1.3.2	-79	-59

De waarden in tabel 20 zijn niet gecorrigeerd voor ronde- en debieteffecten. Aangezien met name de datasets uit het PYTHIA-onderzoek voor deze variabelen van het praktijkgemiddelde kunnen afwijken, is een goede vergelijking tussen huisvestingssystemen beter uit te voeren door voor deze variabelen te corrigeren in een statistisch model, zoals beschreven in 2.2.3. Om tot zinvolle resultaten te komen kan er in deze analyse alleen een onderscheid gemaakt worden tussen stalsystemen volgens de hoofdprincipes en niet volgens de Rav-codering. Op deze wijze kunnen per huisvestingssysteem voldoende herhalingen op locatieniveau worden gecreëerd. De resultaten van

deze analyse worden in tabellen 22-23 gepresenteerd voor de modellen 1 t/m 4, en vergeleken met de ongecorrigeerde gemiddelde emissie.

**Tabel 22** De gemiddelde ammoniakemissie van biggen (kg.dpl<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup>) per emissiereducerend hoofdprincipe en de verwachtingswaarden van de ammoniakemissies (kg.dpl<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup>) onderscheiden naar vier statistische modellen per emissiereducerende hoofdprincipe

Huisvestings-systeem	Gemiddelde	Model 1 (geen co-variabel)	Model 2 (proefdag)	Model 3 (debiet)	Model 4 (proefdag en debiet)
Conventioneel	0,69	0,77	0,71	0,62	0,63
Koeldek	0,34	0,43	0,40	0,34	0,35
Spoelgoten	0,73	0,52	0,46	0,40	0,41
Mestgoot	0,32	0,45	0,38	0,43	0,40

**Tabel 23** Emissieverschil (%) van emissiereducerende hoofdprincipes t.o.v. conventioneel bij vier statistische modellen

Huisvestings-systeem	Gemiddelde	Model 1 (geen co-variabel)	Model 2 (proefdag)	Model 3 (debiet)	Model 4 (proefdag en debiet)
Conventioneel	---	---	---	---	---
Koeldek	-51	-44	-44	-45	-45
Spoelgoten	+6	-33	-35	-35	-35
Mestgoot	-53	-42	-47	-30	-37

Een t-toets laat zien (tabel 24) dat alleen koeldek te onderscheiden is van conventionele stallen ( $P < 0,10$ ). De emissiearme systemen zijn niet van elkaar te onderscheiden. Dit geeft als logisch gevold dat de subsystemen binnen een emissiereducerende hoofdprincipe (Rav-lijst) ook niet van elkaar zijn te onderscheiden.

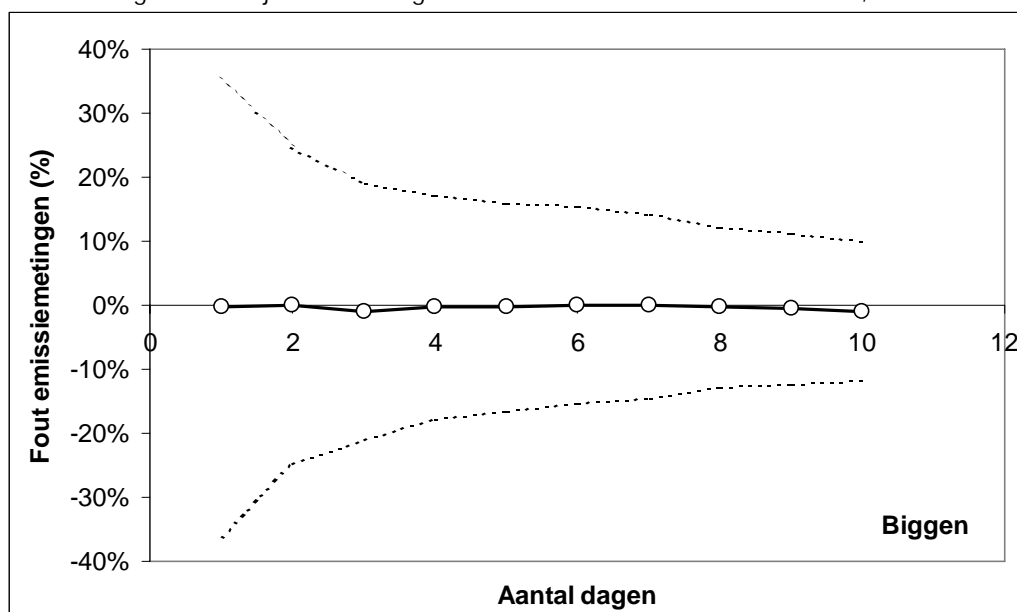
**Tabel 24** Kans behorende bij de hypothese dat de ammoniakemissieniveaus van huisvestingsystemen niet van elkaar verschillen (t-toets)

	Conventioneel	Spoelgoten	Koeldek	Mestgoot
Conventioneel	*			
Spoelgoten	0,15	*		
Koeldek	0,09	0,72	*	
Mestgoot	0,23	0,96	0,78	*

#### 5.4 Effecten aanpassing meetprotocol op nauwkeurigheid

Het effect van het aantal meetdagen in een meetperiode op de meetnauwkeurigheid is onderzocht door middel van een bemonsterings-simulatiestudie. Op alle beschikbare datasets met continue meetreeksen (uit het Rav-onderzoek) werden bemonsteringssimulaties uitgevoerd. De simulaties werden voor verschillende aantallen monsterdagen uitgevoerd, vanaf één bemonsteringsdag tot tien dagen (zie 3.4). De resultaten staan weergegeven in figuur 16.

**Figuur 16** Standaarddeviatie (%) van de geschatte emissie bij een oplopend aantal meetdagen, die aselekt getrokken zijn uit evenredig over de meetronde verdeelde intervallen, voor de diercategorie biggen



De standaarddeviatie voor 10 bemonsteringsdagen was ca. 10%, ca. 15% voor 6 dagen en ca. 20% voor 3 dagen. De resultaten zijn vergelijkbaar met de bemonsteringssimulaties voor vleesvarkens.

## 5.5 Conclusies

De conclusies die uit dit onderzoek voor de diercategorie biggen kunnen worden getrokken zijn onder te verdelen in 3 categorieën:

### 1. Variatiestructuur ammoniakemissie biggen:

- Het ammoniakverloop laat een bij benadering rechtlijnig verband tussen de emissie en het aantal dagen in de opfokronde zien, met een verdubbeling van de ammoniakemissie aan het eind van opfokronde t.o.v. het begin. Variabelen zoals dag in de ronde en ventilatiedebiet kunnen de spreiding binnen een meetperiode voor een groot deel (70-85%) verklaren.
- De resultaten laten geen seizoenseffect zien. Omdat het aantal beschikbare datasets/meetdagen met de verschillende huisvestingssystemen niet evenredig verdeeld is over het gehele jaar, bestaat de mogelijkheid dat het seizoenseffect hierdoor wordt vertekend of gemaskeerd. Evenredig over het jaar verdeelde data zijn gewenst om hierover gefundeerde conclusies te kunnen trekken.
- De variatie in emissie tussen dagen binnen een ronde kan worden verklaard met een (lineair) regressie model dat zowel de dag in de productieronde als het debiet als verklarende variabelen gebruikt.
- De dagwaarden van de ammoniakemissie van een huisvestingssysteem vertonen een zeer aanzienlijke spreiding, zowel binnen één bedrijf als tussen verschillende bedrijven met hetzelfde huisvestingssysteem. De geschatte variantiecomponenten voor binnen- en tussen-bedrijfvariatie hebben, na verdiscontering van de effecten voor ronde-dag en debiet, een orde van grootte van respectievelijk 30 en 60% van het gemiddelde emissieniveau van een systeem (Tabel 19).

### 2. Nauwkeurigheid emissiefactoren

- Bij een 5% significantiegrens (95% betrouwbaarheid) zijn geen hoofdsystemen te onderscheiden. Een t-toets laat zien (tabel 24) dat alleen koeldek zwak significant te onderscheiden zijn van conventionele stallen ( $P < 0.10$ ). De emissiearme systemen zijn onderling niet van elkaar te onderscheiden.
- Vanuit een statistisch perspectief is een onderverdeling naar de verschillende Rav-huisvestingssystemen binnen een specifieke hoofdprincipe niet gerechtvaardigd aangezien de geschatte emissieniveaus voor de gedefinieerde hoofdprincipes niet altijd van elkaar zijn te onderscheiden.

3. Nauwkeurigheid aangepast meetprotocol

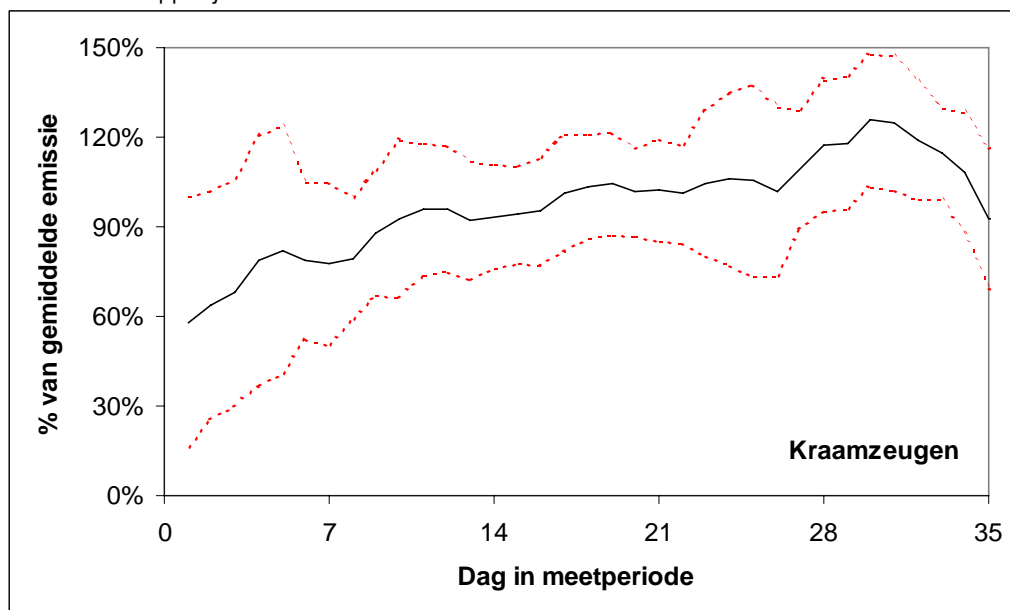
- Om de totale meetfout voor de emissiefactor van een huisvestingssysteem onder het niveau van de tussen-bedrijfvariatie te brengen dient op meerdere bedrijfslocaties gemeten te worden. Een aanvaardbare verhouding tussen meetkosten en beleidsmatig geaccepteerde meetfout bepaalt het gewenste aantal meetlocaties.

## 6 Kraamzeugen

### 6.1 Emissiepatronen

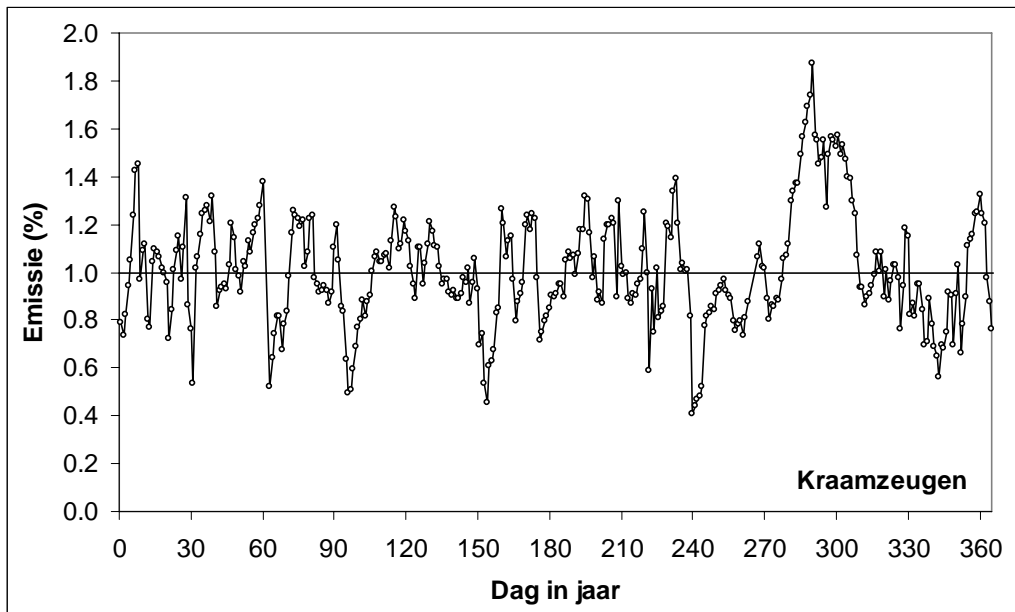
Volgens de Beoordelingsrichtlijn Groen Label (1996) zijn voorwaarden aan startgewicht en eindgewicht voor kraamzeugen niet van toepassing in het Rav-meetprotocol. Wel is er voor deze diercategorie sprake van een toename in diersmassa door de groei van de jonge biggen. Het gemiddelde ammoniakpatroon laat een toename in de tijd zien (figuur 17). In vergelijking met andere diercategorieën, is de spreiding rond het gemiddelde verloop met 20-40% relatief groot. Met de variabele 'dag in de ronde' (sterk gecorreleerd met totaal diergewicht) wordt iets minder dan 50% van de spreiding in de ronde verklaard. Met het ventilatiedebiet als extra variabele stijgt het verklarende effect tot gemiddeld 55%.

**Figuur 17** Verloop van het % van de gemiddelde emissie vs. dag in ronde (groeicycli) voor kraamzeugen. De stippellijn is de standaarddeviatie.

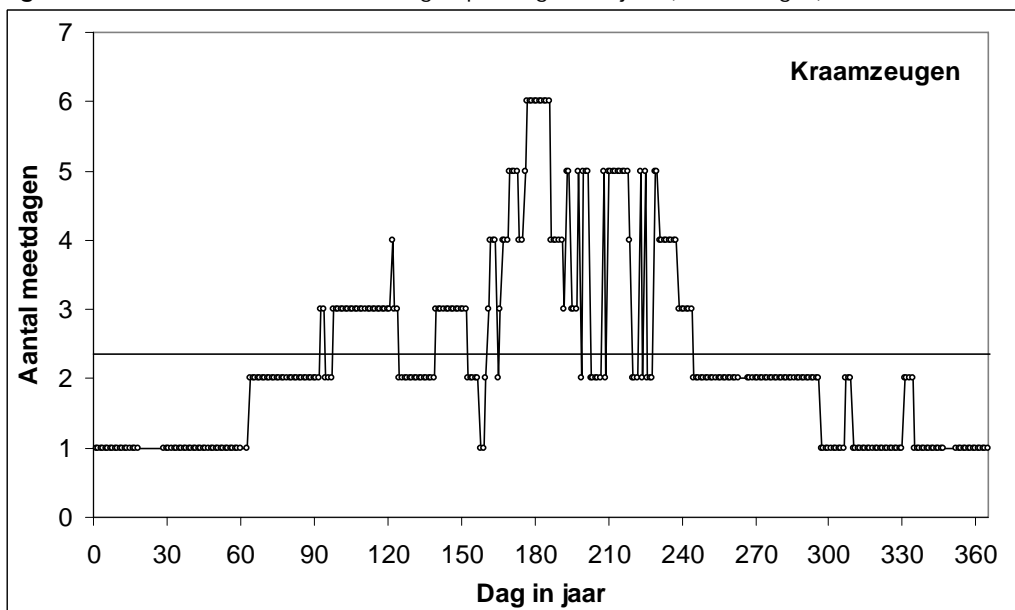


Zoals voor de andere (varkens)diercategorieën, laten de voor de ronde-effecten gecorrigeerde data geen duidelijke seizoenspatronen zien (figuur 18). De data zijn ook hier onvoldoende gebalanceerd verdeeld over het jaar voor de verschillende huisvestingssystemen (figuur 19) om conclusies te kunnen trekken over het optreden van seizoenspatronen.

**Figuur 18** Fluctuatie van de ammoniakemissie van de diercategorie kraamzeugen door het jaar uitgedrukt als percentage van de overall gemiddelde emissie



**Figuur 19** Aantal beschikbare meetdagen per dag in het jaar (kraamzeugen)



## 6.2 Variatiestructuur bij emissiemetingen

In tabel 25 staan de resultaten vermeld van de statistische analyse van de variatiestructuur in de beschikbare datasets. De tabel laat zien dat, evenals voor de andere (varkens)diercategorieën, de tussen-bedrijfvariatie groot is. In het huidige Rav-meetprotocol met één bedrijfslocatie betekent dit dat de standaarddeviatie van de meetfout minimaal 25-30% bedraagt.

**Tabel 25** Geschatte variatiecomponenten bij ammoniakemissiemetingen (kraamzeugen) voor vier verschillende modellen, zoals beschreven in 2.2.3

Variatiebronnen	Model 1 (geen co-variabel)	Model 2 (proefdag)	Model 3 (debiet)	Model 4 (proefdag en debiet)
$\sigma^2(L_i)$	0,01	0,01	0,05	0,05
$\sigma^2(L_i, S)$	0,06	0,06	0,01	0,01
$\sigma^2(R_{ij})$	0,10	0,08	0,07	0,06
$\sigma_{\text{tussen}}$	0,26	0,26	0,25	0,24
$\sigma_{\text{binnen}}$	0,32	0,28	0,27	0,25

### 6.3 Emissieniveaus

De gemiddelde ammoniakemissie per huisvestingssysteem en de standaard deviatie tussen de datasets worden in tabel 26 weergegeven. Meer informatie over de Rav-emissies en over de verschillende gemeten stallen voor kraamzeugen wordt in bijlage A en bijlage B gepresenteerd. Tabel 26 laat een grote spreiding in de ammoniakemissiemetingen voor conventionele systemen zien. Voor kraamzeugen liggen de Rav emissies binnen de bandbreedte van de gemeten emissies, met uitzondering van die voor koeldek. Het emissieverschil t.o.v. conventionele stallen, uitgedrukt als percentage van de emissie van conventionele stallen, wordt in tabel 27 weergegeven voor de Rav lijst en de gemeten emissies.

**Tabel 26** De gemiddelde ammoniakemissies en standaardafwijking (spreiding tussen gemiddeldes van de datasets) voor kraamzeugen

Systeem	Rav-code (VROM, 2002)	Aantal locaties	Aantal datasets	Emissie Rav <sup>(*)</sup> (kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> )	Gemeten emissie <sup>(*)</sup> (kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> )
Conventioneel	D1.2.16	3	5	8,3	6,2 ± 2,2
Koeldek	D1.2.12	2	4	2,4	3,1 ± 0,1
Spoelgoten	D1.2.1	2	4	3,3	3,3 ± 0,1
Mestgoot	D1.2.5	3	7	3,2	3,8 ± 0,8

<sup>(\*)</sup> 10% leegstand

**Tabel 27** Emissieverschil (%) van huisvestingssystemen t.o.v. conventioneel (kraamzeugen) binnen de Rav-lijst en binnen de lijst van gemeten emissies

Huisvestingssysteem	Rav-code	Rav-lijst (VROM, 2002)	Gemeten emissies
Koeldek	D1.2.12	-71	-50
Spoelgoten	D1.2.1	-60	-47
Mestgoot	D1.2.5	-61	-39

De waarden in tabel 26 zijn niet gecorrigeerd voor bedrijfslocatie-effecten en houden geen rekening met het verschil in aantallen waarnemingen tussen datasets. Mogelijke effecten van co-variabelen die verschillen per huisvestingssysteem (b.v. debiet) kunnen eveneens een zuivere vergelijking van systemen beïnvloeden. Een goede inschatting van de emissieniveaus van huisvestingssystemen is beter uit te voeren m.b.v. een statistisch model, zoals beschreven in 2.2.3. Een dergelijke modelbenadering maakt tevens een statistische toetsing van verschillen mogelijk. In de tabellen 28 en 29 staat de resultaten van deze analyse weergegeven. Alle emissiereducerende systemen leiden tot (ongeveer) dezelfde emissiereductie.



**Tabel 28** De gemiddelde ammoniakemissie van kraamzeugen ( $\text{kg.dpl}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$ ) per emissiereducerend hoofdprincipe en de verwachtingswaarden van de ammoniakemissies ( $\text{kg.dpl}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$ ) onderscheiden naar vier statistische modellen per emissiereducerende hoofdprincipe

Huisvestings-systeem	Gemiddelde	Model 1 (geen co-variabel)	Model 2 (proefdag)	Model 3 (debiet)	Model 4 (proefdag en debiet)
Conventioneel	6,2	8,4	8,2	7,7	7,6
Koeldek	3,1	3,5	3,4	3,6	3,5
Spoelgoten	3,3	3,8	3,7	2,6	2,7
Mestgoot	3,8	3,6	3,7	4,3	4,2

**Tabel 29** Emissieverschil (%) van emissiereducerende hoofdprincipes t.o.v. conventioneel bij vier statistische modellen

Huisvestings-systeem	Gemiddelde	Model 1 (geen co-variabel)	Model 2 (proefdag)	Model 3 (debiet)	Model 4 (proefdag en debiet)
Conventioneel	---	---	---	---	---
Koeldek	-50	-58	-59	-53	-54
Spoelgoten	-47	-55	-55	-67	-65
Mestgoot	-39	-56	-55	-44	-45

Een t-toets laat zien dat de emissiereducerende systemen (tabel 30) significant lagere emissieniveaus hebben dan de conventionele stallen ( $P < 0,01$ ). Het systeem spoelgoten heeft een significant hogere emissie ( $P < 0,01$ ) dan de andere twee systemen die onderling niet significant van elkaar verschillen. Dit geeft als logisch gevold dat de subsystemen binnen een emissiereducerende hoofdprincipe (Rav-lijst) ook niet van elkaar zijn te onderscheiden.

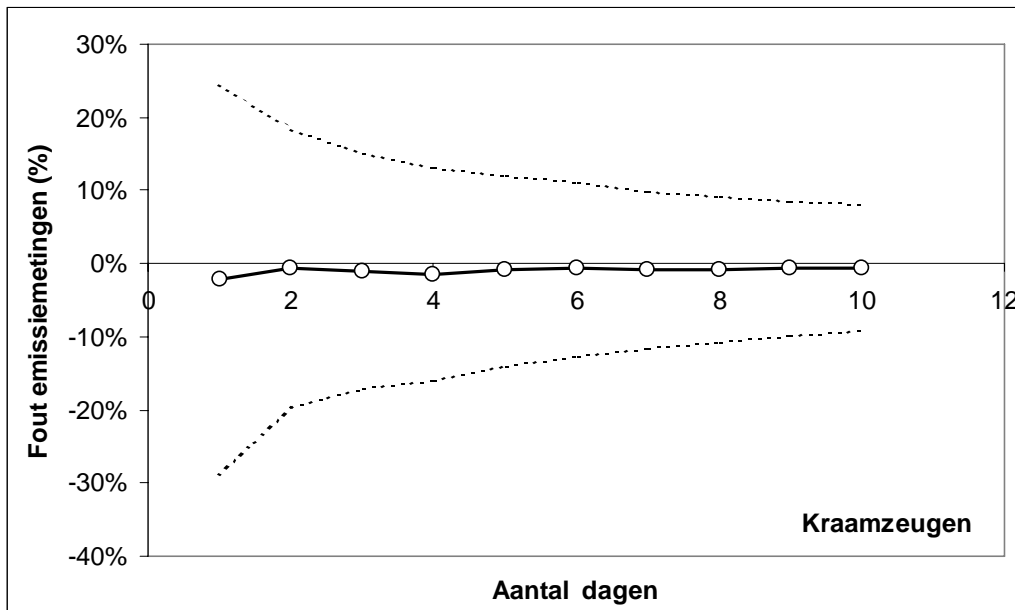
**Tabel 30** Kans behorende bij de hypothese dat de ammoniakemissieniveaus van huisvestingsystemen niet van elkaar verschillen (t-toets)

	Conventioneel	Spoelgoten	Koeldek	Mestgoot
Conventioneel	*			
Spoelgoten	0,00	*		
Koeldek	0,00	0,14	*	
Mestgoot	0,00	0,03	0,40	*

#### 6.4 Effecten aanpassing meetprotocol op nauwkeurigheid

Het effect van het aantal meetdagen in een meetperiode op de meetnauwkeurigheid is onderzocht door middel van een bemonsterings-simulatiestudie. Op alle beschikbare datasets met continue meetreeksen (uit het Rav-onderzoek) werden bemonsteringssimulaties uitgevoerd. De simulaties werden voor verschillende aantallen monsterdagen uitgevoerd, vanaf één bemonsteringsdag tot tien dagen (zie 3.4). De resultaten staan weergegeven in figuur 20.

**Figuur 20** Standaarddeviatie (%) van de geschatte emissie bij een oplopend aantal meetdagen, die aselekt getrokken zijn uit evenredig over de meetronde verdeelde intervallen, voor de diercategorie kraamzeugen



De standaarddeviatie voor 10 bemonsteringsdagen was ca. 8%, ca. 12% voor 6 dagen en ca. 15% voor 3 dagen. De resultaten zijn vergelijkbaar met de bemonsteringssimulaties voor vleesvarkens.

## 6.5 Conclusies

De conclusies die uit dit onderzoek voor de diercategorie kraamzeugen kunnen worden getrokken zijn onder te verdelen in 3 categorieën:

### 1. Variatiestructuur ammoniakemissie kraamzeugen:

- Het ammoniakverloop laat een bij benadering rechtlijnig verband tussen de emissie en het aantal dagen in de meetronde zien, met een bijna verdubbelde ammoniakemissie aan het eind van meetronde t.o.v. het begin. Variabelen zoals dag in de ronde en ventilatiedebiet kunnen de spreiding binnen een meetperiode voor een aanzienlijk deel (55%) verklaren.
- De resultaten laten geen seizoenseffect zien. Omdat het aantal beschikbare datasets/meetdagen met de verschillende huisvestingssystemen niet evenredig verdeeld is over het gehele jaar, bestaat de mogelijkheid dat het seizoenseffect hierdoor wordt vertekend of gemaskeerd. Evenredig over het jaar verdeelde data zijn gewenst om hierover gefundeerde conclusies te kunnen trekken.
- De variatie in emissie tussen dagen binnen een ronde kan worden verklaard met een (lineair) regressie model dat zowel de dag in de productieronde als het debiet als verklarende variabelen gebruikt.
- De dagwaarden van de ammoniakemissie van een huisvestingssysteem vertonen een aanzienlijke spreiding, zowel binnen één bedrijf als tussen verschillende bedrijven met hetzelfde huisvestingssysteem. De geschatte variantiecomponenten voor binnen- en tussen-bedrijfvariatie hebben een grootte van respectievelijk 25 en 30% van het gemiddelde emissieniveau van een systeem (Tabel 25).

### 2. Nauwkeurigheid emissiefactoren

- Bij een 5% significantiegrens (95% betrouwbaarheid) is spoelgoten te onderscheiden van koeldek en mestgoot. De drie emissiereducerende systemen wijken significant af van het conventionele huisvestingssysteem.
- Vanuit een statistisch perspectief is een onderverdeling naar de verschillende Rav-huisvestingssystemen binnen een specifiek hoofdprincipe niet gerechtvaardigd aangezien de geschatte emissieniveaus voor de gedefinieerde hoofdprincipes niet altijd van elkaar zijn te onderscheiden.

3. Nauwkeurigheid bij aangepast meetprotocol

- Om de totale meetfout voor de emissiefactor van een huisvestingssysteem onder het niveau van de tussen-bedrijfvariatie te brengen dient op meerdere bedrijfslocaties gemeten te worden. Een aanvaardbare verhouding tussen meetkosten en beleidsmatig geaccepteerde meetfout bepaalt het gewenste aantal meetlocaties.

## 7 Algemene conclusies en verbetervoorstellen

### 7.1 Variatiestructuur en nauwkeurigheid emissiefactoren

Ter verkrijging van een goed inzicht in de resultaten uit de variantie-analyse en de betekenis hiervan voor de nauwkeurigheid van emissiefactoren, wordt in tabel 31 de variatiestructuur van de datasets voor de onderzochte diergroepen op hoofdlijnen samengevat.

**Tabel 31** Samenvatting variatiestructuur in de datasets van vleesvarkens, dragende zeugen, biggen en kraamzeugen

	Vleesvarkens	Dragende zeugen	Biggen	Kraamzeugen
Verloop NH <sub>3</sub> emissie in een meetperiode	Lineaire toename	Stabiel niveau	Lineaire toename	Lineaire toename
Seizoenseffect	Niet aantoonbaar	Niet aantoonbaar	Niet aantoonbaar	Niet aantoonbaar
Verklarende variabelen voor variatie in emissie tussen dagen in de ronde	Dag in ronde Debiet	Geen	Dag in ronde Debiet	Dag in ronde Debiet
Geschatte variantiecomponenten *)				
$\sigma_{\text{tussen}}$	46% (43%)	31% (31%)	66% (60%)	27% (24%)
$\sigma_{\text{binnen}}$	46% (28%)	23% (20%)	51% (28%)	33% (25%)

\*) tussen haakjes, gecorrigeerd voor dag in ronde en/of debiet

Uit de analyse blijkt dat alle datasets per diergroep een uniform verloop laten zien, afhankelijk van de productievorm, nemen emissies lineair toe of zijn stabiel. De tussen- en binnen-bedrijfsvariaties fluctueren binnen bandbreedtes van respectievelijk 27-66% en 23-51%. Wanneer gecorrigeerd wordt voor effecten van ronde en/of debiet, neemt de bandbreedte vooral voor de binnen-bedrijfvariatie af naar 20-28%, hetgeen te verwachten viel omdat de spreiding van deze variabelen binnen bedrijven veel ruimer is dan de gemiddelde verschillen van deze variabelen tussen bedrijven. De variatieniveaus zijn qua orde van grootte vergelijkbaar met die uit eerder geuremissieonderzoek van Ogink en Lens (2001). Uiteraard dient hier de kanttekening te worden gemaakt dat het eerdere onderzoek geuremissie betreft en geen ammoniakuitstoot. In het betreffende rapport wordt opgemerkt dat het daarbij, als gevolg van het beperkte aantal bedrijfslocaties (n=4) per diercategorie, om schattingen van variatieniveaus gaat met een zeer geringe nauwkeurigheid die niet meer dan een vergelijking van de onderlinge orde van grootte toelaat. In deze studie kon over veel meer datasets per diercategorie beschikt worden, variërend van 10 datasets voor kraamzeugen tot 30 voor vleesvarkens. Per dataset is het aantal meetpunten bovendien veel groter dan die in de geuremissie-datasets. De schattingen in deze studie zijn daarom nauwkeuriger dan die uit het geuremissieonderzoek. Geconcludeerd wordt dat beide onderzoeken een aanzienlijke variatie in ammoniak- en geuremissie tonen binnen een en hetzelfde huisvestingssysteem zowel tussen bedrijven als in de tijd binnen een bedrijf.

Bij de wijze waarop de tussen-bedrijfverschillen zijn ingeschat dient wel een kanttekening te worden geplaatst. De analyse is uitgevoerd op basis van een verdeling van systemen naar hoofdprincipes en niet op basis van verdere detaillering naar subsystemen binnen de hoofdprincipes (zie 2.12). Bij subsystemen is de basis, het emissiereducerende principe, gelijk maar zijn er verschillen in bijvoorbeeld type roostervloer. Idealiter zou de analyse binnen deze subsystemen hebben dienen plaats te vinden aangezien de subsystemen met een eigen emissiefactor in de Rav zijn opgenomen. Omdat de analyse zwaar steunt op voldoende herhalingen binnen systemen zijn de subsystemen echter noodgedwongen als herhalingen in de analyse opgenomen. Met name bij de diercategorieën vleesvarkens en in iets mindere mate bij biggen is er sprake van meerdere subsystemen die als herhaling zijn opgenomen (tabel 3 en 5), bij de andere twee diercategorieën is dit nauwelijks of in het geheel niet aan de orde (tabel 4 en 6). Een deel van de variatie bij vleesvarkens en biggen zou dus kunnen zijn veroorzaakt door verschillen in details binnen een hoofdprincipe. De tussen-bedrijfvariaties voor deze twee categorieën liggen inderdaad wat hoger dan die van de zeugengroepen. Het potentiële effect van deze 'substysteemvariatie' op tussen-bedrijfvariatie wordt hier echter voor de betreffende diercategorieën beperkt geacht, enerzijds omdat de technische verschillen gering zijn en anderzijds omdat de verdeling van de aantallen locaties over de subsystemen in de hoofdcategorieën maar een beperkte uitdrukking van substysteemvariatie

toelaat ten opzichte van de tussen-bedrijfvariatie. Deze inschatting wordt gesteund door een vergelijking met de tussen-bedrijfvariatie binnen subcategorieën waar wel voldoende bedrijven aanwezig zijn om een inschatting te maken. Binnen de twee conventionele systemen voor vleesvarkens D3.4.1 en D3.4.2 bedraagt de tussen-bedrijfvariatie respectievelijk 34 en 35% (tabel 8). Deze liggen daarmee qua orde van grootte in de buurt van de overall inschatting van 44% in tabel 31.

Het huidige meetprotocol, waarop het merendeel van de Rav-emissiefactoren is gebaseerd, leidt tot een nauwkeurigheid die niet onder de tussen-bedrijfvariatie kan uitkomen omdat er niet op meerdere locaties wordt gemeten (zie hoofdstuk 2.2.3.2 voor theoretische nauwkeurigheid meetprotocol). De standaarddeviaties van de bijbehorende meetfouten van deze cijfers liggen daarmee op minimaal 25 tot 60% (tabel 31). Voor een 95%-betrouwbaarheidsinterval rond een gemeten emissiegetal dient met tweemaal deze standaarddeviatie om het gemeten getal te worden gerekend. Deze spreiding sluit dan ook niet aan op de wijze van afronding van emissiefactoren in de Rav, die een veel hogere nauwkeurigheid suggereert. Bij vleesvarkens gebeurt dit bijvoorbeeld op tienden van kilogrammen  $\text{NH}_3$  per dierplaats. Een meting met als resultaat 2,5 kg  $\text{NH}_3$  (per dierplaats per jaar) levert bij een tussen-stalvariatie van 30% een betrouwbaarheidsinterval op van 1,4 - 4,6 kg  $\text{NH}_3$ , d.w.z. dat de werkelijke waarde met 95% kans in dit interval ligt. Een discussie over het gegeven of het getal dan naar 2,6 of 2,5 moet worden afgerond heeft in dit licht gezien weinig zin, en roept enkel het misverstand op dat de meetprocedure een dergelijke gedetailleerde uitspraak over de prestatie van het systeem toelaat. Deze constatering is gebaseerd op de in dit rapport gepresenteerde analyse van de variatiestructuur van ammoniakemissie, een analyse die niet eerder kon plaatsvinden dan na het verkrijgen van voldoende datasets in de loop der jaren. Bij de opzet van het eerste meetprotocol voor ammoniakemissie in 1996 kon niet geput worden uit een analyse van de variatiestructuur van ammoniakemissies omdat de hiervoor noodzakelijke datasets in binnen- en buitenland niet aanwezig waren. Wel werd toen rekening gehouden met het fenomeen van tussen-bedrijfvariatie door het stellen van de zogenoemde landbouwkundige voorwaarden. Dit houdt in dat eisen worden gesteld aan de belangrijkste managementfactoren, die geacht werden effect te hebben op de ammoniakemissie. Deze dienden binnen vooraf vastgestelde bandbreedtes te blijven om daarmee een voldoende representatief bedrijf te verkrijgen. Conclusie in deze studie is echter dat uit de data-analyse blijkt dat binnen deze bandbreedtes nog een aanzienlijke variatie tussen bedrijven optreedt, met als gevolg een geringere nauwkeurigheid van emissiefactoren dan verwacht en aangenomen bij de opname van emissiefactoren in de Rav.

## 7.2 Aanpassing van meetprotocollen en de effecten op de meetnauwkeurigheid

De huidige analyse geeft tal van aangrijpingspunten voor het verbeteren van meetprotocollen. In hoofdstuk 3.4 is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor onderdelen van een meetprotocol voor huisvestingssystemen. Duidelijk is dat door het herhalen van de metingen op meerdere locaties de eindnauwkeurigheid sterk verbeterd kan worden. Binnen een locatie kan met veel minder inspanningen volstaan worden dan in het protocol uit 1996 wordt voorgeschreven, zonder de eindnauwkeurigheid substantieel te beïnvloeden.

Speciale aandacht verdient daarbij de wijze waarop de meetstrategie binnen een locatie dient te worden ingericht in relatie tot het optreden van seizoensfluctuaties. In geen van de onderzochte diercategorieën kon namelijk een seizoenseffect worden vastgesteld in de vorm van een systematisch patroon door het jaar. Het ontbreken van dergelijke patronen was niet verwacht omdat het ventilatiedebiet, waarvan het product met de concentratie de emissie bepaalt, wel een duidelijk seizoenaal verloop kent. Dit suggereert dat de hogere debieten in de zomer worden gecompenseerd door evenredig lagere  $\text{NH}_3$ -concentraties. Dat wil niet zeggen dat dergelijke patronen bij emissies in het geheel niet kunnen voorkomen. Het onderscheidend vermogen was namelijk niet optimaal omdat de beschikbare data niet evenredig over het jaar zijn verdeeld door de eisen aan de meetperiodes die het Groen Label meetprotocol stelde. Niettemin laat het beschikbare materiaal duidelijk zien dat er geen aanwijzingen zijn voor substantiële golfbewegingen met amplitudes van 10% en meer. In plaats van systematische seizoenspatronen is er wel sprake van een aanzienlijke binnen-bedrijfvariatie. Hierin komen allerlei korte en lange termijn klimaatseffecten tot uiting, evenals managementfactoren die de emissie beïnvloeden via bijvoorbeeld stalhygiëne, voeding en stalklimaatbeheersing. Het niet kunnen onderscheiden en tegelijkertijd niet kunnen uitsluiten van seizoenspatronen is een fenomeen dat vragen oproept over de gewenste lengte van meetperiodes voor emissiefactoren. Zolang voldoende geschikte datasets ontbreken die hierover uitsluitel kunnen geven, wordt hier geconcludeerd dat het de voorkeur verdient metingen over een volledig meteorologisch jaar uit te spreiden om risico's op systematische onder- of overschattingen te vermijden.

### 7.3 Nauwkeurigheid van emissiefactoren en indeling van stalsystemen

Binnen de huidige Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) wordt per diercategorie een lijst van emissiefactoren voor traditionele en emissiearme stalsystemen gepresenteerd. Deze lijst is onderverdeeld in hoofdprincipes waarbinnen een detaillering wordt weergegeven. Vaak wordt onderscheid gemaakt in verschillende roostervloeren, verschillende emitterende oppervlakten, verschillend koelend oppervlak in de mestkelder enz. Deze detaillering levert voor vleesvarkens een lijst van 6 hoofdprincipes (traditioneel stalstelsel, koelen van mest in de kelder, beperking emitterend oppervlak, frequent verwijderen van mest, verdunnen van mest in de kelder en het wassen van de uitgaande lucht) met uiteindelijk 38 verschillende emissiefactoren. Voor andere diercategorieën zijn soortgelijke uitsplitsingen gemaakt die ook hebben geleid tot een groot aantal te onderscheiden huisvestingssystemen en emissiefactoren. De huidige lijst is het resultaat van een jarenlang proces waarin telkens nieuwe varianten van hoofdprincipes zijn opgenomen en is daardoor sterk in omvang en complexiteit toegenomen. De detaillering is deels gebaseerd op metingen volgens het Groen Label protocol en deels op een stelsel van afleidingen om emissiereducerende effecten van de ene diercategorie naar de ander te vertalen. De accuraatheid van deze afleidingen kan niet beter zijn dan de accuraatheid van de onderliggende gemeten emissiecijfers.

De huidige analyse en de afgeleide nauwkeurigheden van emissiefactoren geeft de mogelijkheid tot een beschouwing hoe de indeling van stalsystemen kan worden verbeterd en in overeenstemming worden gebracht met het verkregen statistische inzicht. In een dergelijke beschouwing zal allereerst de vraag moeten worden beantwoord wat de voor- en nadelen zijn van een toenemende detaillering van indelingsprincipes huisvestingssystemen en welke randvoorwaarden hierbij gelden. Voor de beantwoording van deze vraag wordt allereerst opgemerkt dat het alsmar verder detailleren van een hoofdprincipe in het algemeen leidt tot steeds geringere emissiereducties. Het voordeel van een verdere detaillering schuilt in het vermogen om het milieurendement van beperkte aanpassingen binnen een hoofdprincipe te benutten. Dergelijke geringe aanpassingen kunnen in de praktijk leiden tot vermindering van reducties tegen een lage kostprijs per kg NH<sub>3</sub>. Nadelen aan verdere detaillering kunnen worden onderverdeeld in twee hoofdaspecten. Het eerste aspect is dat wanneer detaillering niet gekoppeld is aan de nauwkeurigheid waarmee emissiefactoren worden vastgesteld, er een situatie kan ontstaan waarin milieurendementen worden gesuggereerd die in werkelijkheid niet voorkomen, in feite dus schijnrendementen. Dat betekent dat er geïnvesteerd wordt in milieueffecten die niet optreden. Het andere aspect is dat verdere detaillering leidt tot een complexe Rav-lijst waarbij veel werk wordt gestopt in het opstellen hiervan en waarbij het gebruik en de handhaving in de praktijk steeds ondoorzichtiger wordt door de hoeveelheid en de uitgebreidheid van stalbeschrijvingen. Ervaringen bij het opstellen van de huidige lijst leren dat er momenteel veel energie wordt gependend aan het beredeneren van afleidingen om emissiefactoren aan het brede scala van subsystemen te koppelen die bij de huidige indelingsprincipes mogelijk zijn. De basis voor deze afleidingen is echter wankel waar het gaat om het beredeneren van verschillen die veel kleiner zijn dan de meetfouten van de emissiefactoren waarop de afleidingen zijn gebaseerd. Uiteindelijk bestaat het risico dat dit uitmondt in een zwak gefundeerd Rav-systeem dat veel energie vraagt in onderhoud en gebruik door derden.

Gezien het voorgaande wordt hier geconcludeerd dat detaillering niet verder dient te gaan dan wat meettechnisch nog net kan worden onderscheiden. De keuze ligt dan bij welk onderscheidingsvermogen het gewenst is om milieurendementen van stalaanpassingen te benutten en hiermee samenhangend welke mate van detaillering leidt tot een doorzichtige en hanteerbare Rav-lijst die met een aanvaardbaar inspanningsniveau kan worden onderhouden en bijgesteld. Hierbij dienen zowel de inspanningen voor het verkrijgen van emissiefactoren met een acceptabele nauwkeurigheid te worden beschouwd, als het begeleidende administratieve proces. Dergelijke doelbewuste keuzes en bijbehorende afwegingen konden tot dusver niet gemaakt worden omdat te weinig kennis voorhanden was van meetnauwkeurigheden.

Als toelichting hoe keuzes t.a.v. het onderscheidend vermogen kunnen leiden tot een gefundeerde indeling van stalsystemen voor de Rav is de nauwkeurigheid van het oude Groen Label protocol uitgewerkt voor de vleesvarkenscategorie uit de analyse. Als criterium voor een aanvaardbare mate van detaillering/clustering is een statistische toets gehanteerd die aangeeft of vastgestelde emissiefactoren significant van elkaar verschillen met 90% betrouwbaarheid. Daarbij is voor de hoofdprincipes gebruik gemaakt van alle beschikbare herhalingen, dat betekent dat er veel meer informatie is gebruikt dan welke normaal uit een emissiemeting voortkomt. Voor vleesvarkens blijkt dat de onderzochte emissiearme hoofdprincipes frequente mestverwijdering (spoelgoten), mestkoeling (koeldek) en oppervlakteverkleining (IC-V) allen met 90% betrouwbaarheid te onderscheiden waren van conventionele stalsystemen. De emissiearme stalsystemen zijn echter onderling niet van elkaar te onderscheiden (bij 90% betrouwbaarheid). Op subcategorie-niveau zijn geen onderlinge verschillen aan te tonen, althans niet op basis van het beperkte aantal datasets dat voorhanden is. Op basis van deze informatie zou een

Rav-indeling op hoofdprincipes kunnen volstaan. Een eenvoudige beschrijving waarmee wordt aangetoond dat een stal binnen een gegeven hoofdprincipe valt zou dan voldoende zijn. In principe zou er dan ook met één emissiefactor voor de genoemde emissiearme systemen dienen te worden gewerkt, onderlinge verschillen tussen emissiecijfers hebben immers geen statistische betekenis. Vervolgens zou nog een klasse sterk reducerende stalsystemen kunnen worden opgenomen die significant meer reduceren dan de drie hoofdprincipes. Hierbij zou men kunnen denken aan de luchtwastechnieken, die in deze analyse overigens niet zijn meegenomen.

In het hiervoor behandelde voorbeeld is in omgekeerde volgorde vanuit het onderscheidend vermogen van een meetprotocol teruggedeneerd naar een bijbehorend indelingssysteem (met de kanttekening dat veel meer informatie is gebruikt dan een enkelvoudige meting oplevert). Ten opzichte van de huidige Rav-indeling blijft dan enkel de hoofdindeling overeind. Terecht kan worden opgemerkt dat de voordelen van een vereenvoudiging mogelijk niet opwegen tegen de nadelen verbonden aan het onvoldoende gebruikmaken van emissiereducerend vermogen van allerlei technieken. Dat zou betekenen dat een groter onderscheidend vermogen (d.w.z. verbeterd meetprotocol) is gewenst om deze technieken aan bod te laten komen. Deze afweging zal dus leidend moeten zijn om vervolgens tot een verantwoorde indeling van stalsystemen in de Rav-lijst te komen.

## Literatuur

- Allen, A.G., Harrison, R.M. en Wake, M.T. (1988). A meso-scale study of the behaviour of atmospheric ammonia and ammonium. *Atmospheric Environment* **22**, 1347-1353.
- Beoordelingsrichtlijn Groen Label (1996). Beoordelingsrichtlijn in het kader van Groen Label stallen, uitgave maart 1996. Publicatie van de Ministeries van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieugeheer en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- Binkley, D. en Richter, D. (1987). Nutrient cycles and H<sup>+</sup> budgets of forest ecosystems. *Adv. Ecol. Res.* **16**, 1-51.
- Bleijenberg, R. en Ploegaert, J.P.M. (eds.) (1994). Handleiding meetmethode ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen: Apparatuur, installatie en gegevensverwerking. Wageningen, IMAG-DLO report 94-1.
- Bobbink, R., Boxman, D., Fremstad, E., Heil, G., Houdijk, A. en Roelofs, J. (1992). Critical loads for nitrogen eutrophication of terrestrial and wetland ecosystems based upon changes in vegetation and fauna. In *Critical loads for nitrogen* (Eds. Grennfelt, P. and Thörmelöf, E.), p.41. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- De Boer, W.J. en Ogink, N.W.M. (1994). Het effect van ventilatie en temperatuur op de ammoniakemissie uit een rundveestal: het schatten van behandelingseffecten en nauwkeurigheden door tijdreeksanalyse. IMAG Rapport 94-15.
- Erisman, J.W., Vermetten, A.W.M., Asman, W.A.H., Slanina, J. en Wajers-Ijpelaan, A. (1988). Vertical distribution of gases and aerosols: the behaviour of ammonia and related components in the lower atmosphere. *Atmospheric Environment* **22**, 1153-1160.
- EU (2001). Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. Official Journal L 309, 27/11/2001, pp. 22-30
- Heij, G.J. en Schneider, T. (1991). Acidification research in the Netherlands. In *Studies in Environmental Science* **46** (Eds. Heij, G.J. and Schneider, T.), pp. 3-24, Elsevier, Amsterdam.
- Heil, G.W. en Bruggink, M. (1987). Competition for nutrients between *Calluna vulgaris* (L.) Hull and *Molinia caerulea* (L.) Moench. *Oecologia* **73**, 105-107.
- Mol, G. en Ogink, N.W.M. (2002). Geuremissies uit de veehouderij II. Overzichtsrapportage 2000-2002. *IMAG Rapport 2002-09*.
- Ogink, N.W.M. en Klarenbeek, J.V. (1997). Evaluation of a standard sampling method for determination of odour emission from animal housing systems and calibration of the Dutch pig odour unit into standardized odour units. In *Proceedings of the international Symposium "Ammonia and odour control from animal production facilities"*, pp. 231-238. Vinkeloord, 6-10 October 1997, The Netherlands.
- Ogink, N.W.M. en Lens, P.N. (2001). Geuremissie uit de veehouderij. Overzichtsrapportage 1996-1999. IMAG rapport 2001-14.
- Ogink, N.W.M. en Mol, G. (2002). Uitwerking van een meetprotocol voor het meten van geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. IMAG, Wageningen 2002; nota P2002-57.
- RIVM en CBS (2001). Milieucompodium 2001: het milieu in cijfers. Centraal Bureau voor de Statistiek CBS), Voorburg/Heerlen en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven.
- Schulze, E.D., de Vries, W., Hauhs, M., Rosén, K., Rasmussen, L., Tamm, S.O. en Nilsson, J. (1989). Critical loads for nitrogen deposition on forest ecosystems. *Water Air Soil Pollut.* **48**, 451-456.
- Sliggers, J. (ed.) (2001). Op weg naar duurzame niveaus voor gezondheid en natuur. Overzichtspublicatie thema verzuring en grootschalige luchtverontreiniging. Rapport VROM 010344/h/10-01 17529/187, Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, oktober 2001, 229 pp.
- Van Breemen, N. en van Dijk, H.F.G. (1988). Ecosystem effects of atmospheric deposition of nitrogen in the Netherlands. *Envir. Pollut.* **54**, 249-274.
- Van Dam, D., van Dobben, H.F., ter Braak, C.F.J. en de Wit, T. (1986). Air pollution as a possible cause for the decline of some phanerogamic species in the Netherlands. *Vegetatio* **65**, 47-52.
- VROM (2001). National Environmental Policy Plan-4. VROM, The Hague, the Netherlands.
- VROM (2002). Regeling ammoniak en veehouderij. *Staatscourant* **82** (1 mei, 2002).
- VROM (2005). Besluit ammoniakemissie huisvesting veehouderij. *Staatscourant* **61** (27 maart, 2007), [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl).
- Wintjens, Y. (1993). Gaswasfles. In *Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak-problematiek in de veehouderij*, Rapport 16 (ed. Van Ouwerkerk, E.N.J.) DLO, Wageningen.



## Bijlagen

### Bijlage A Rav codes uitgave mei 2002 (VROM, 2002)

**Tabel A1** VLEESVARKENS

System	Rav	Karakteristieken	Emissie kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup>
Conventioneel	D3.4.1	Overige huisvestingssystemen, hokoppervlak maximaal 0,8 m <sup>2</sup>	2,5
	D3.4.2	Overige huisvestingssystemen, hokoppervlak groter dan 0,8 m <sup>2</sup>	3,5
Spoelgoten	D3.2.12.1	Spoelgotensysteem met metalen driekantroosters, hokoppervlak maximaal 0,8 m <sup>2</sup>	1,0
	D3.2.13.1	Spoelgotensysteem met roosters, hokoppervlak maximaal 0,8 m <sup>2</sup>	1,2
	D3.2.13.2	Spoelgotensysteem met roosters, hokoppervlak groter dan 0,8 m <sup>2</sup>	1,5
Koeldek	D3.2.3.2	Koeldeksysteem (170% koeloppervlak) met metalen driekantroostervloer, hokoppervlak groter dan 0,8 m <sup>2</sup>	2,0
	D3.2.6.1	Koeldeksysteem (200% koeloppervlak) met metalen roostervloer, maximaal 0,8 m <sup>2</sup> emitterend mestoppervlak	1,2
	D3.2.6.2.2	Koeldeksysteem (200% koeloppervlak) met roosters anders dan metaal, emitterend mestoppervlak groter dan 0,6 m <sup>2</sup> , doch kleiner dan 0,8 m <sup>2</sup>	2,0
IC-V	D3.2.7.1.1	Mestkelders met (water- en) mestkanaal, bij een maximaal 0,18 m <sup>2</sup> emitterend mestoppervlak (door schuine putwand), met metalen driekantroosters op het mest kanaal, emitterend mestoppervlak maximaal 0,18 m <sup>2</sup>	1,0
	D3.2.7.1.2	Mestkelders met (water- en) mestkanaal, bij een maximaal 0,18 m <sup>2</sup> emitterend mestoppervlak (door schuine putwand), met metalen driekantroosters op het mest kanaal, emitterend mestoppervlak groter dan 0,18 m <sup>2</sup> , maar kleiner dan 0,27 m <sup>2</sup>	1,2

**Tabel A2** DRAGENDE ZEUGEN

System	Rav	Karakteristieken	Emissie kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup>
Conventioneel	D1.3.12	Overige huisvestingssystemen, individuele huisvesting	4,2
	D1.3.13	Overige huisvestingssystemen, groepshuisvesting	4,2
Spoelgoten	D1.3.3	Spoelgotensysteem met dunne mest	2,5
Koeldek	D1.3.8.1	Koeldeksysteem (115 % koeloppervlak)	2,2
	D1.3.8.2	Koeldeksysteem (135 % koeloppervlak)	2,2
Delvries	D1.3.1	Smalle ondiepe mestkanalen met metalen driekantroostervloer en rioleringsysteem (alleen toepasbaar bij individuele huisvesting)	2,4

**Tabel A3** BIGGEN

Systeem	Rav	Karakteristieken	Emissie kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup>
Conventioneel	D1.1.15.1	Overige huisvestingssystemen, hokoppervlak maximaal 0,35 m <sup>2</sup>	0,60
	D1.1.15.2	Overige huisvestingssystemen, hokoppervlak groter dan 0,35 m <sup>2</sup>	0,75
Spoelgoten	D1.1.2.1	Spoelgotensysteem met dunne mest en gedeeltelijk roostervloer, hokoppervlak maximaal 0,35 m <sup>2</sup>	0,21
	D1.1.2.2	Spoelgotensysteem met dunne mest en gedeeltelijk roostervloer, hokoppervlak groter dan 0,35 m <sup>2</sup>	0,27
Koeldek	D1.1.11.1	Koeldeksysteem (150 % koeloppervlak), hokoppervlak maximaal 0,35 m <sup>2</sup>	0,15
	D1.1.11.2	Koeldeksysteem (150 % koeloppervlak), hokoppervlak groter dan 0,35 m <sup>2</sup>	0,19
Mestgoot	D1.1.3.1	Mestgoot met schuine wand en ontmestingssysteem, hokoppervlak maximaal 0,35 m <sup>2</sup>	0,13
	D1.1.3.2	Mestgoot met schuine wand en ontmestingssysteem, hokoppervlak groter dan 0,35 m <sup>2</sup>	0,16

**Tabel A4** KRAAMZEUGEN

Systeem	Rav	Karakteristieken	Emissie kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup>
Conventioneel	D1.2.16	Overige huisvestingssystemen	8,3
Spoelgoten	D1.2.1	Spoelgotensysteem, spoelen met dunne mest	3,3
Koeldek	D1.2.12	Koeldeksysteem (150 % koeloppervlak)	2,4
Mestgoot	D1.2.5	Mestgoot met mestafvoersysteem	3,2

**Bijlage B** Overzicht stalsystemen per diercategorie

**Tabel B1** Overzicht van de in dit onderzoek bemeten stalsystemen voor vleesvarkens, de bijbehorende Rav-code (VROM, 2002), het onderzoeksprogramma, en het jaar waarin het onderzoek aan dit systeem is uitgevoerd

Locatie	Huisvestingssysteem	Ronden	Meetdagen	Onderzoek	Jaar	RAV-code	T <sub>stal</sub> [°C]	T <sub>buut</sub> [°C]	Debiet [m <sup>3</sup> .uur <sup>-1</sup> .dier <sup>-1</sup> ]	NH <sub>3</sub> -emissie (*) [kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> ]	Emissie RAV-2002 [kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> ]
1	Conventioneel	1	106	Groen Label	1994	D3.4.1	23.96	18.52	66.41	2.03	2.5
2	Conventioneel	1	41	Groen Label	1995	D3.4.1	22.76	15.80	43.82	2.83	2.5
	Koeldek	2	179	Groen Label	1995	----	22.19	13.98	39.94	1.61	---
	Koeldek	2	182	Groen Label	1995	D3.2.6.1	22.61	13.54	34.59	2.05	1.2
	Koeldek	2	183	Groen Label	1995	D3.2.6.1	22.30	13.61	33.65	1.10	1.2
3	Conventioneel	2	11	Pythia	1996	D3.4.1	22.20	13.05	31.49	3.01	2.5
4	Conventioneel	2	227	Groen Label	1996	D3.4.1	23.06	12.12	28.43	1.95	2.5
	Spoelgoten	2	225	Groen Label	1996	D3.2.12.1	24.26	11.81	30.88	1.75	1.0
	Spoelgoten	2	227	Groen Label	1996	D3.2.13.1	23.66	12.15	27.90	1.88	1.2
5	Conventioneel	2	10	Pythia	1996	D3.4.1	23.36	13.42	25.59	2.41	2.5
6	Conventioneel	2	11	Pythia	1996	D3.4.1	21.92	13.53	53.19	4.24	2.5
7	Spoelgoten	2	234	Groen Label	1997	D3.2.12.1	22.40	10.15	27.63	1.00	1.0
	Spoelgoten	2	228	Groen Label	1997	D3.2.13.1	22.41	10.60	29.23	1.16	1.2
	Spoelgoten	2	235	Groen Label	1997	D3.2.13.1	22.37	10.38	30.25	1.20	1.2
8	Spoelgoten	2	10	Pythia	1998	D3.2.13.1	22.05	10.85	38.46	3.39	1.2
9	IC-V	2	10	Pythia	1998	D3.2.7.1.1	22.43	10.83	32.16	1.27	1.0
	Koeldek	2	10	Pythia	1998	D3.2.6.1	23.21	10.83	27.92	0.90	1.2
	Koeldek	2	10	Pythia	1998	D3.2.6.2.2	23.34	10.83	18.75	0.82	2.0
10	Conventioneel	2	10	Pythia	1998	D3.4.2	25.52	11.93	28.20	1.95	3.5
11	Spoelgoten	2	10	Pythia	2000	D3.2.13.2	23.41	13.38	25.20	1.66	1.5
12	IC-V	2	10	Pythia	2000	D3.2.7.1.2	24.72	16.86	37.67	1.69	1.4
13	Spoelgoten	1	5	Pythia	2000	D3.2.13.1	24.31	8.54	14.93	1.38	1.2
14	IC-V	2	214	Groen Label	2001	----	22.29	13.04	14.32	0.90	1.0-1.5
	IC-V	2	203	Groen Label	2001	----	22.67	13.66	15.54	0.78	1.0-1.5
	IC-V	2	208	Groen Label	2001	----	22.09	14.20	18.69	0.77	1.0-1.5
15	Conventioneel	2	163	Groen Label	2001	D3.4.2	22.67	12.40	37.23	3.12	3.5
	Koeldek	2	165	Groen Label	2001	D3.2.6.2.2	23.31	13.62	39.36	2.74	2.0
16	Conventioneel	1	5	Pythia	2002	D3.4.1	20.73	10.65	21.24	1.56	2.5
	IC-V	1	5	Pythia	2002	D3.2.7.1.2	24.16	10.65	27.13	2.23	1.4
17	Conventioneel	1	9	Pythia	2002	D3.4.2	25.07	15.19	29.05	4.21	3.5
	Koeldek	1	9	Pythia	2002	D3.2.3.2	24.73	15.19	28.76	3.68	2.0
18	Conventioneel	1	10	Pythia	2002	D3.4.1	25.25	17.22	35.57	4.69	2.5
	IC-V	1	10	Pythia	2002	D3.2.7.1.1	25.33	17.22	32.62	2.46	1.0
19	Conventioneel	1	9	Pythia	2002	D3.4.1	21.57	13.40	46.76	3.59	2.5
	IC-V	1	10	Pythia	2002	D3.2.7.1.2	22.25	14.19	46.35	1.48	1.4

<sup>(\*)</sup> 10% leegstand

**Tabel B2** Overzicht van de in dit onderzoek bemeten stalsystemen voor dragende zeugen, de bijbehorende Rav-code (VROM, 2002), het onderzoeksprogramma, en het jaar waarin het onderzoek aan dit systeem is uitgevoerd

Locatie	Huisvestingssysteem	Ronden	Meetdagen	Onderzoek	Jaar	RAV-code	T <sub>stal</sub> [°C]	T <sub>buit</sub> [°C]	Debiet [m <sup>3</sup> .uur <sup>-1</sup> .dier <sup>-1</sup> ]	NH <sub>3</sub> -emissie (*) [kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> ]	Emissie RAV-2002 [kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> ]
1	Conventioneel	1	71	Groen Label	1993	D1.3.12	16.36	17.18	139.22	3.60	4.2
	Conventioneel	1	71	Groen Label	1993	D1.3.12	15.97	17.18	88.89	4.83	4.2
2	Conventioneel	1	34	Groen Label	1993	D1.3.12	18.86	9.61	74.83	3.67	4.2
3	Conventioneel	1	49	Groen Label	1993	D1.3.12	19.00	2.92	44.14	4.41	4.2
4	Spoelgoten	4	130	Groen Label	1994	D1.3.3	20.57	13.00	86.00	2.57	2.5
	Spoelgoten	4	132	Groen Label	1994	D1.3.3	20.77	12.97	84.52	2.40	2.5
5	Conventioneel	2	85	Groen Label	1995	D1.3.12	22.24	13.48	77.37	4.53	4.2
	Conventioneel	2	90	Groen Label	1995	D1.3.13	23.24	12.42	70.60	3.63	4.2
6	Conventioneel	2	10	Pythia	1996	D1.3.12	24.18	5.32	55.20	5.86	4.2
7	Conventioneel	1	21	Groen Label	1996	D1.3.12	22.15	18.12	87.94	2.50	4.2
	Conventioneel	2	10	Pythia	1996	D1.3.12	21.78	16.44	82.26	3.75	4.2
	Koeldek	2	58	Groen Label	1996	D1.3.8.1	20.95	24.00	69.89	2.02	2.2
8	Conventioneel	2	10	Pythia	1996	D1.3.12	24.24	14.88	73.83	4.84	4.2
9	Conventioneel	2	10	Pythia	1996	D1.3.12	22.00	12.18	67.98	4.02	4.2
10	Spoelgoten	2	10	Pythia	2000	D1.3.3	24.90	19.60	79.59	3.35	2.5
11	Conventioneel	2	54	Groen Label	2000	D1.3.13	20.13	14.01	74.65	5.92	4.2
12	Koeldek	2	10	Pythia	2000	D1.3.8.2	22.00	13.25	60.03	2.97	2.2
13	Spoelgoten	2	10	Pythia	2000	D1.3.3	24.20	19.80	90.75	3.05	2.5
14	Delvries	2	10	Pythia	2000	D1.3.1	24.40	17.00	80.79	2.18	2.4
15	Conventioneel	1	5	Pythia	2001	D1.3.13	20.29	12.24	53.66	3.09	4.2
16	Koeldek	1	5	Pythia	2001	D1.3.8.2	17.93	5.52	38.20	3.58	2.2
17	Spoelgoten	1	5	Pythia	2001	D1.3.3	21.67	5.83	27.40	3.13	2.5
18	Conventioneel	1	5	Pythia	2003	D1.3.12	22.41	17.70	106.14	4.61	4.2
	Delvries	1	5	Pythia	2003	D1.3.1	21.20	17.70	103.87	1.29	2.4
19	Conventioneel	1	5	Pythia	2003	D1.3.12	23.11	18.60	94.13	3.75	4.2
	Delvries	1	5	Pythia	2003	D1.3.1	22.23	18.60	137.46	2.87	2.4
20	Conventioneel	1	5	Pythia	2003	D1.3.12	21.95	17.68	111.48	2.21	4.2
	Delvries	1	5	Pythia	2003	D1.3.1	22.19	17.68	88.73	1.30	2.4
21	Conventioneel	1	5	Pythia	2003	D1.3.12	21.19	11.88	47.99	3.54	4.2
	Koeldek	1	5	Pythia	2003	D1.3.8.1	21.96	16.02	68.51	3.19	2.2
22	Conventioneel	1	5	Pythia	2003	D1.3.12	23.99	15.36	58.30	4.04	4.2
	Koeldek	1	5	Pythia	2003	D1.3.8.1	23.49	10.11	34.85	3.44	2.2
23	Conventioneel	1	5	Pythia	2003	D1.3.12	22.67	15.29	50.92	3.98	4.2
	Koeldek	1	5	Pythia	2003	D1.3.8.1	21.52	9.89	24.11	1.08	2.2

<sup>(\*)</sup> 5% leegstand

**Tabel B3** Overzicht van de in dit onderzoek bemeten stalsystemen voor biggen, de bijbehorende Rav-code (VROM, 2002), het onderzoeksprogramma, en het jaar waarin het onderzoek aan dit systeem is uitgevoerd

Locatie	Huisvestingssysteem	Ronden	Meetdagen	Onderzoek	Jaar	RAV-code	T <sub>stal</sub> [°C]	T <sub>buit</sub> [°C]	Debiet [m <sup>3</sup> .uur <sup>-1</sup> .dier <sup>-1</sup> ]	NH <sub>3</sub> -emissie (*) [kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> ]	Emissie RAV-2002 [kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> ]
1	Conventioneel	2	73	Groen Label	1993	D1.1.15.1	24.85	3.46	8.51	0.59	0.60
	Spoelgoten	2	76	Groen Label	1993	D1.1.2.1	22.68	3.36	8.92	0.21	0.21
2	Conventioneel	3	100	Groen Label	1993	D1.1.15.1	24.75	2.69	6.71	0.36	0.60
	Mestgoot	2	76	Groen Label	1993	D1.1.3.1	24.41	2.77	5.91	0.35	0.13
3	Conventioneel	1	40	Groen Label	1996	D1.1.15.1	24.97	17.57	9.65	0.84	0.60
	Conventioneel	2	10	Pythia	1996	D1.1.15.1	23.90	15.92	11.70	0.90	0.60
	Koeldek	1	40	Groen Label	1996	D1.1.11.1	24.87	17.93	8.73	0.39	0.15
4	Conventioneel	1	44	Groen Label	1998	D1.1.15.2	25.44	17.23	13.77	1.39	0.75
	Spoelgoten	1	47	Groen Label	1998	D1.1.2.1	25.90	17.12	15.91	1.83	0.21
	Spoelgoten	1	26	Groen Label	1998	D1.1.2.1	28.20	16.15	9.28	0.69	0.21
5	Conventioneel	2	10	Pythia	1999	D1.1.15.1	26.56	20.58	13.88	0.56	0.60
6	Conventioneel	2	10	Pythia	1999	D1.1.15.2	24.65	19.41	11.84	0.21	0.75
7	Mestgoot	2	10	Pythia	2000	D1.1.3.2	27.30	18.50	9.61	0.33	0.16
8	Mestgoot	2	10	Pythia	2000	D1.1.3.1	24.80	19.60	13.45	0.29	0.13
9	Spoelgoten	2	10	Pythia	2000	D1.1.2.2	25.70	20.10	10.46	0.34	0.27
	Spoelgoten	2	10	Pythia	2000	D1.1.2.2	25.30	20.30	15.61	0.60	0.27
10	Koeldek	2	10	Pythia	2000	D1.1.11.2	24.70	13.25	8.20	0.29	0.19
11	Koeldek	1	5	Pythia	2001	D1.1.11.2	27.26	20.18	20.08	0.35	0.19

<sup>(\*)</sup> 10% leegstand

**Tabel B4** Overzicht van de in dit onderzoek bemeten stalsystemen voor kraamzeugen, de bijbehorende Rav-code (VROM, 2002), het onderzoeksprogramma, en het jaar waarin het onderzoek aan dit systeem is uitgevoerd

Locatie	Huisvestingssysteem	Ronden	Meetdagen	Onderzoek	Jaar	RAV-code	T <sub>stal</sub> [°C]	T <sub>buit</sub> [°C]	Debiet [m <sup>3</sup> .uur <sup>-1</sup> .dier <sup>-1</sup> ]	NH <sub>3</sub> -emissie (*) [kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> ]	Emissie RAV-2002 [kg.dpl <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> ]
1	Conventioneel	2	59	Groen Label	1993	D1.2.16	22.59	9.71	132.43	8.62	8.3
	Spoelgoten	2	59	Groen Label	1993	D1.2.1	24.01	9.92	162.14	3.23	3.3
2	Mestgoot	2	64	Groen Label	1993	D1.2.5	23.63	2.56	74.57	3.47	3.2
	Mestgoot	2	63	Groen Label	1993	D1.2.5	22.56	3.51	66.20	2.75	3.2
3	Traditioneel	2	60	Groen Label	1996	D1.2.12	22.43	14.15	123.22	8.94	2.4
	Koeldek	2	62	Groen Label	1996	D1.2.16	22.16	14.86	86.60	3.12	8.3
4	Spoelgoten	2	10	Pythia	2000	D1.2.1	24.00	18.80	169.97	3.29	3.3
5	Koeldek	2	10	Pythia	2000	D1.2.12	24.40	12.90	61.31	3.03	2.4
6	Mestgoot	2	10	Pythia	2000	D1.2.5	25.10	19.60	128.56	4.38	3.2
7	Conventioneel	1	5	Pythia	2001	D1.2.16	23.08	21.21	120.42	4.42	8.3
	Mestgoot	1	5	Pythia	2001	D1.2.5	26.51	23.87	176.87	4.42	3.2

<sup>(\*)</sup> 10% leegstand