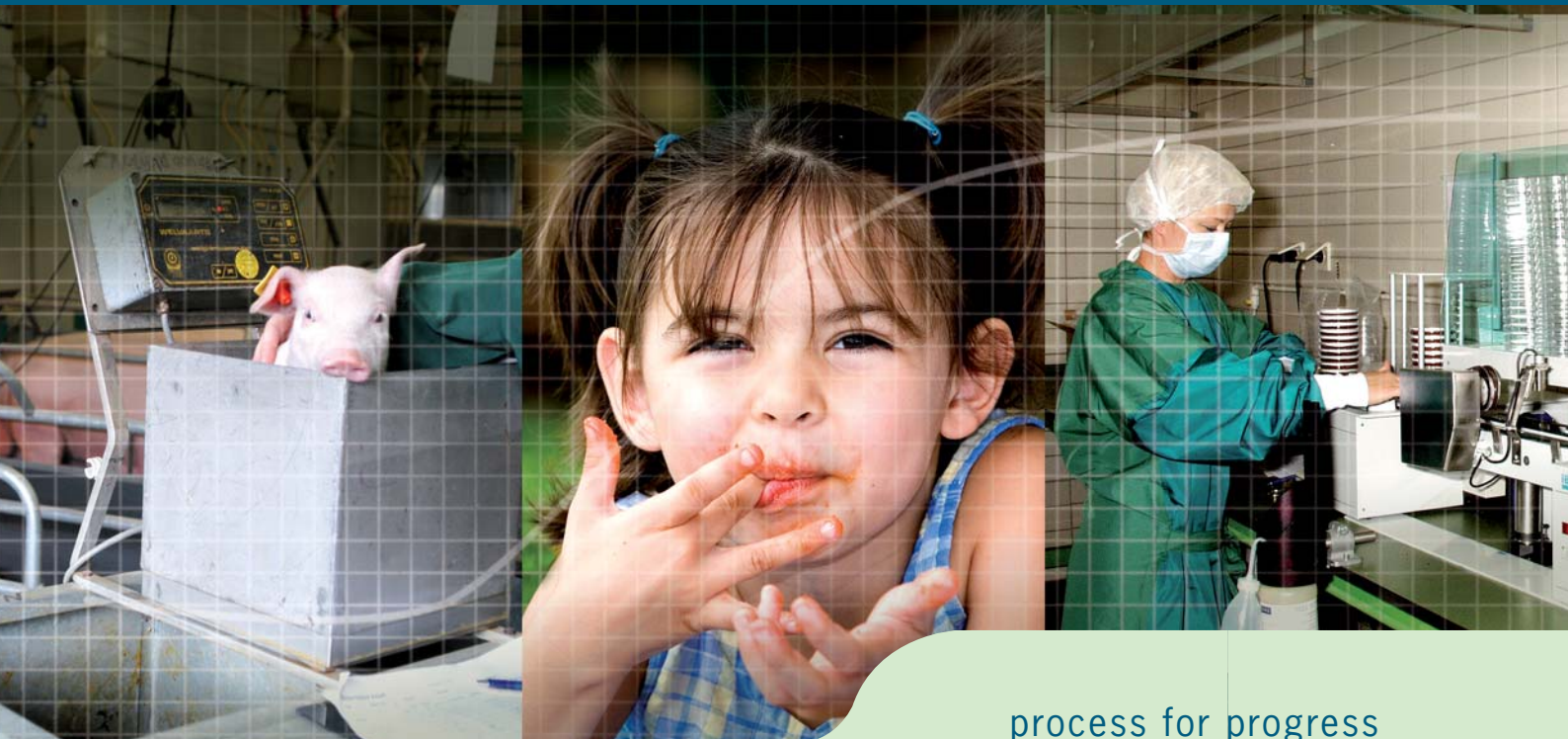


# Animal Sciences Group

Divisie Veehouderij, kennispartner voor de toekomst



process for progress

Rapport 80

Reductieopties voor ammoniak en methaanemissie uit huisvesting voor melkvee

November 2007



ANIMAL SCIENCES GROUP  
WAGENINGEN UR

## 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 reports gives an overview of the sources of ammonia and methane emission from dairy housing and the options for reduction.

**Keywords:** ammonia emission, methane emission, dairy, housing, reduction options.

### Referaat

ISSN 1570 - 8616

**Auteurs:** H.J.C. van Dooren, M.C.J. Smits

**Titel:** Reductieopties voor ammoniak- en methaanemissie uit huisvesting voor melkvee Rapport 80

### Samenvatting

Het rapport is een overzicht van de processen en factoren die leiden tot de emissie van methaan en ammoniak uit melkveestallen en de mogelijkheden om deze emissies te verminderen. Per reductieoptie wordt een beschrijving, een overzicht van de meetresultaten gegeven en een inschatting van de gevoeligheid, kosteneffectiviteit en afwentelingsrisico's.

**Trefwoorden:** ammoniakemissie, methaanemissie, melkveehouderij, reductieopties



Rapport 80

## Reductieopties voor ammoniak- en methaanemissie uit huisvesting voor melkvee

### Reduction options of ammonia and methane emissions from dairy housing

H.J.C. van Dooren

M.C.J. Smits

November 2007

## **Voorwoord**

Voor u ligt de rapportage van het project 'Deskstudie reductieopties ammoniak- en methaanemissie uit melkveestallen' dat door ASG- veehouderij is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit binnen het thema gasvormige emissie van het cluster mineralen en milieukwaliteit (BO-05-005)

Hendrik Jan van Dooren

## Samenvatting

De rundveehouderij is in Nederland een van de grootste bronnen van methaan- en ammoniakemissie uit de landbouw. Vooral door de overwegend natuurlijke ventilatie zijn (integrale) oplossingen voor de emissies van methaan, ammoniak en geur uit stallen beperkt. In het verleden zijn nieuwe stalvloeren, spoelsystemen en aanzuuropties onderzocht en ontwikkeld, vooral vanuit het oogpunt van ammoniakemissiereductie, waarbij bijvoorbeeld de sleufvloer positief scoort op zowel methaan als ammoniak.

Gezien de bijdrage van de rundveesector aan beide emissies en de (verwachte) emissieplafonds in de toekomst is een analyse nodig van mogelijkheden om verdergaande emissiereducties vanuit rundveestallen te kunnen ontwikkelen, testen en toepassen. Een aantal sporen is al uitgezet, zoals een studie naar de luchtzuivering bij onderafzuiging van lucht uit rundveestallen, mogelijkheden van toevoegmiddelen aan mest, aanpassingen aan de veevoeding, maar deze opties hebben veelal alleen óf ammoniak óf methaan als doel.

Deze deskstudie gaat uit van de processen en factoren die bij de vorming en emissie van ammoniak en methaan vanuit de rundveestal een rol spelen en resulteert in een optietabel voor oplossingsrichtingen. Deze optietabel levert in een vervolgtraject aanknopingspunten voor gericht vervolgonderzoek. Tijdens deze deskstudie wordt niet alleen aandacht besteed aan de betreffende emissies vanuit bestaande stalsystemen maar betreft ook nieuwe ontwikkelingen op het gebied van bedrijfsgebouwen en inrichting.

### Doel

Doel van het project is een basis te genereren voor de verdere ontwikkeling van integrale oplossingen voor de emissie van methaan en ammoniak vanuit natuurlijk geventileerde stallen voor rundvee, rekening houdend met al uitgevoerd en lopend onderzoek in nationaal en internationaal kader.

### Afbakening

Over de technische mogelijkheden om de ammoniak- en geuremissie in de vleeskalverenhouderij te verminderen, is eerder een Quick Scan uitgevoerd (Smits *et al.*, 2005). In dit rapport zal de vleeskalverenhouderij daarom slechts beperkt aan de orde komen.

Het belang van rundvee voor de roodvleesproductie is in Nederland vrij beperkt. Extensievere vormen van vleesveehouderij met veel weidegang nemen daarbinnen toe terwijl intensieve vormen van (rood)vleesveehouderij met permanente opstalling in omvang afnemen. De bijdrage aan de stalemissie van deze vormen van vleesveehouderij is klein. Daarom wordt in dit rapport slechts zijdelings aandacht besteed aan deze categorie. De verkenning van technische mogelijkheden voor reductie van emissies zal voornamelijk focussen op melkveestallen. De principes van emissievermindering daaruit zijn overigens ook overdraagbaar naar de andere rundveehouderijtakken.

### Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van een aantal relevante ontwikkelingen in de melkveesector, beleid en onderzoek. Hoofdstuk 3 gaat in op de processen en factoren die leiden tot de emissie van ammoniak en methaan. Daaruit komen reductieopties naar voren die beschreven worden in hoofdstuk 4. Deze opties worden samengevat in een tabel die opgenomen is in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 zijn de conclusies opgenomen en wordt een plan van aanpak voor vervolgonderzoek gepresenteerd.

### Resultaten

Een overzicht van de behandelde reductieopties en een samenvatting van emissiereductie, kosteneffectiviteit, toepasbaarheid, neveneffecten, gevoeligheid en prioriteit bij verdere uitwerking is weergegeven in onderstaande tabellen voor respectievelijk ammoniak en methaan.

### Aanbevelingen

Op basis van de ontwikkelingen in de melkveesector, onderzoek en beleid en de beschreven reductieopties komen twee ontwikkelingsrichtingen naar voren: die van verbetering van het huidige huisvestingssysteem (ligboxen) en die van de ontwikkeling van een nieuw huisvestingssysteem (zonder ligboxen). De eerste categorie speelt zich op de korte termijn af terwijl het tweede type initiatieven gericht is op de wat verdere toekomst. Daarom wordt voorgesteld in het verdere onderzoek naar de vermindering van de ammoniakemissie uit huisvesting voor melkvee deze twee sporen verder uit te werken.

## Reductieopties ammoniak

Reductieoptie	RAV nummer	Emissiefactor	Kosteneffectiviteit	Toepasbaarheid	Neveneffect	Gevoeligheid	Prioriteit verdere uitwerking
<i>Titel of nummer van reductieoptie</i>	<i>Indien aanwezig</i>	<i>Emissiefactor of gemeten emissiereductie kg NH<sub>3</sub>/dp/jaar<sup>2</sup></i>	<i>Inschatting van kosten/kg vermeden emissie<sup>3</sup></i>	<i>Toepasbaar in bestaande stallen nieuwbouw</i>	<i>Positieve of negatieve gevolgen</i>	<i>Gevoeligheid emissiereductie</i>	<i>Samenvattende score afnemende belangrijkheid</i>
<b>Huisvestingssysteem</b>							
Potstal (en overige strooiselsystemen)		13,9		Nieuwbouw	E		+
Grupstal <sup>1</sup>	BB 93.06.009	4,3		Nieuwbouw	D		-
Ligboxenstal		11,0/9,5					
Vermindering bevuild oppervlak				Nieuwbouw	D		-
<b>Ventilatie</b>							
Beperking luchthoeveelheid				Bestaand	C		-
Beperking luchtsnelheid				Bestaand			-
Splitsing ventilatie				Bestaand			
Luchtwassings		80-90%		Nieuwbouw	B		++
Verbranding ventilatielucht				Nieuwbouw	B		
<b>Voeding</b>							
Beperking eiwitname				Bestaand			+
Beïnvloeding zuurgraad urine				Bestaand			+
<b>Vloeren</b>							
Roostervloer met hellende schijnvloer		23-47%		Nieuwbouw	A		-
Dichte vlakke vloer		0%		Nieuwbouw	A		-
Dichte hellende vloer met giergoot <sup>4</sup>	BB 93.03.003	8,6/7,5			A		-
Berg- en dalvloer <sup>4</sup>	BB 93.03.003/ D94.06.020v1	8,6/7,5			A		-
Sleuenvloer	BB 97.05.055	9,2/7,7		Nieuwbouw	A		-
Afsluiting roosterspleten		50%					-
Beperking urease activiteit		?		Bestaand			++
Stalen roosters		52%					-
<b>Vloerafwerking</b>							
Epoxy of coating op roosters		13%		Bestaand	A		-
Epoxy of coating op dichte hellende vloer		23-50%			A		-

Reductieoptie	RAV nummer	Emissiefactor	Kosteneffectiviteit	Toepasbaarheid	Neveneffect	Gevoeligheid	Prioriteit verdere uitwerking
<i>Titel of nummer van reductieoptie</i>	<i>Indien aanwezig</i>	<i>Emissiefactor of gemeten emissiereductie kg NH<sub>3</sub>/dp/jaar<sup>2</sup></i>	<i>Inschatting van kosten/kg vermeden emissie<sup>3</sup></i>	<i>Toepasbaar in bestaande stallen nieuwbouw</i>	<i>Positieve of negatieve gevolgen</i>	<i>Gevoeligheid emissiereductie</i>	<i>Samenvattende score afnemende belangrijkheid</i>
Rubber		?		Bestaand			++
Gietasfalt							+
<b>Spoelsystemen</b>							
Spoelen roostervloer		8,6/7,5		Bestaand	G		-
Spoelen hellende dichte vloer		8,6/7,5		Nieuwbouw	G		-
Spoelen hellende dichte vloer <sup>5</sup>	BB 94.02.15v1	7,8/6,8		Nieuwbouw	G		-
Spoelen roostervloer met water		13%		Bestaand	G		-
Spoelen roostervloer met formaline		40-50%		Bestaand	G		-
Spoelen hellende dichte vloer met formaline		87%			G		-
<b>Mestopslagen</b>							
Direct uit stal verwijderen		50%		Nieuwbouw			+
Geen mestopslag in stal		50%		Nieuwbouw			++
Afdekken				Bestaand			-
Stro		70%					-
Bouwkundig		48%					-
Vloeistof							-
Drijvend		76-81%					-
i.c.m. luchtzuivering							++
Photo-katalytische filtering i.c.m. afdekking				Bestaand			+
<b>Mestbewerking</b>							
Snelle droging <sup>6</sup>				Bestaand	F		+
Scheiding				Bestaand			+
Aanzuren		70%		Bestaand			-
Beluchten				Bestaand			-
Koelen				Bestaand			-
Toevoegingen				Bestaand			-
Verdunnen				Bestaand			-
Adsorptie door kleimineralen				Bestaand			-

<sup>1</sup> Met emitterend mestoppervlak van grup en kelder maximaal 1,2 m<sup>2</sup> per koe.

<sup>2</sup> Permanent opstallen/beweiden

<sup>3</sup> ++: zeer gunstig; +: gunstig; -: ongunstig; --: zeer ongunstig

<sup>4</sup> Maximaal 3 m<sup>2</sup> mestbesmeurd oppervlak per koe

<sup>5</sup> Eénzijdig hellend met maximaal 3 m<sup>2</sup> mestbesmeurd oppervlak per koe

<sup>6</sup> Geforceerd waarbij drogingslucht wordt gereinigd

A: Welzijn van dieren is in gedrang door verminderde begaanbaarheid van de vloer

B: In combinatie met omschakeling naar mechanische ventilatie is dit een dure optie die leidt tot hogere energiekosten en gepaard gaat met extra CO<sub>2</sub> uitstoot

C: Voldoende ventilatie voor afvoer van warmte moet gewaarborgd zijn.

D: Welzijn van dieren is in gedrang door verminderde bewegingsvrijheid o.a. door smallere loopgangen.

E: Hogere methaanemissies waarschijnlijk.

F: Geforceerde droging vraagt veel energie. Combinatie met mestvergisting kan die leveren.

G: Toenemend mestvolume



## Reductieopties methaan

Reductieoptie	RAV nummer	Emissiefactor	Kosteneffectiviteit	Toepasbaarheid	Neveneffect	Gevoeligheid	Prioriteit verdere uitwerking
<i>Titel of nummer van reductieoptie</i>	<i>Indien aanwezig</i>	<i>Emissiefactor of gemeten emissiereductie kg CH<sub>4</sub>/ton mest</i>	<i>Inschatting van kosten/ton vermeden emissie</i>	<i>Toepasbaar in bestaande stallen of nieuwbouw</i>	<i>Positieve of negatieve gevolgen</i>	<i>Gevoeligheid emissiereductie</i>	<i>Samenvattende score</i>
<b>Huisvestingssysteem</b>							
Potstal (en overige strooiselsystemen)	n.v.t.	1,3 kg/dp per jaar					+
Grupstal	n.v.t.						-
Ligboxenstal met mestopslag	n.v.t.	1,420					-
<b>Ventilatie</b>							
Biofilter	n.v.t.	46,0 <sup>3</sup>	€ 110 <sup>4</sup>				+ <sup>5</sup>
Affakkelen	n.v.t.	83,5 <sup>2</sup>	€ 34 <sup>4</sup>				+ <sup>5</sup>
<b>Voeding</b>							
Aanpassing veevoer	n.v.t.						++
<b>Mestopslagen</b>							
Direct verwijderen van mest	n.v.t.	0,215					+
Geen mestopslag in stal	n.v.t.	0,092					++
Korstvorming op mestopslag							-
<b>Mestbewerking</b>							
Vergisting van mest met co-producten	n.v.t.		€-1				++
Vergisting van mest (mesofiel)		0,471 <sup>1</sup>	€-13				++
Koude vergisting van mest							+
Hogere pH		1,312					-

<sup>1</sup> Bij een methaanlekage van 5%

<sup>2</sup> CO<sub>2</sub>-equivalenten per dierplaats per jaar

<sup>3</sup> Bij 50% emissiereductie

<sup>4</sup> Per ton CO<sub>2</sub> equivalent

<sup>5</sup> Alleen in combinatie met NH<sub>3</sub> vermindering bij splitsing van ventilatiestromen.

## **Summary**

Dairy farming is one of the major sources of methane and ammonia emission from agriculture in the Netherlands. Integrated solutions to reduce emissions of methane and ammonia and not increase other emissions like odor are difficult to find, especially for the free ventilated dairy barns. New concrete floor, acidification and other reduction options with respect to ammonia emissions have been developed in the past. The grooved floor was one of the options reducing both methane and ammonia emission. Because of the contribution of dairy farming to national emissions from agriculture it is likely that in the near future further analyses, tests and implementation of emission reduction options will be necessary.

This desk study starts with a description of the processes and factors that lead to the production and emission of ammonia and methane and will from there list the possible solutions. This will be a starting point for the improvement of existing housing systems or the development of new housing systems for dairy cows.

## **Results**

A summary of the described reduction options, reduction potential, cost effectiveness, trade offs and priorities for further development are presented in the two following tables, the first for ammonia and the second for methane.

## **Recommendations**

Based on the developments in dairy farming, research and policy the described reduction options lead to two main recommendations. One is to improve existing housing systems for dairy cattle (cubicles) and the other is to develop new housing systems based on free stall designs.

## Reduction options ammonia

Reduction option	RAV number	Emission factor	Cost effectiveness	Applicable	Trade offs	Sensitivity	Priority for further research
<i>Title or number of reduction option</i>	<i>When available</i>	<i>Emission reduction kg NH<sub>3</sub>/animal/year<sup>2</sup></i>	<i>Costs /kg reduced emission</i>	<i>Applicable in existing barns or new to build barns</i>	<i>Positive or negative side effects</i>	<i>Sensitivity emission reduction</i>	<i>Summarizing score<sup>3</sup></i>
<b>Housing systems</b>							
Deep litter		13,9		New	E		+
Tie stall <sup>1</sup>	BB 93.06.009	4,3		New	D		-
Cubicle system		11,0/9,5					
Reduced fouled area				New	D		-
<b>Ventilation</b>							
Reduced air exchange				Existing	C		-
Reduced air speed				Existing			-
Separate ventilation				Existing			
Air scrubbing		80-90%		New	B		++
Incineration of outgoing air				New	B		
<b>Feed</b>							
Reduced protein intake				Existing			+
Influencing pH urine				Existing			+
<b>Floors</b>							
Slatted floor with sloping secondary floor underneath		23-47%		New	A		-
Solid concrete floor		0%		New	A		-
Solid concrete sloping floor with gutter	BB 93.03.003	8,6/7,5			A		-
Double sloping floor <sup>4</sup>	BB 93.03.003/ D94.06.020v1	8,6/7,5			A		-
Grooved floor	BB 97.05.055	9,2/7,7		New	A		-
Closure of slots in slatted floor		50%					-
Reduced urease activity		?		Existing			++
Steel slatted floor		52%					-
<b>Floor top layer</b>							
Epoxy or coating on slatted floor		13%		Existing	A		-
Epoxy of coating op solid sloping floor		23-50%			A		-

Reduction option	RAV number	Emission factor	Cost effectiveness	Applicable	Trade offs	Sensitivity	Priority for further research
<i>Title or number of reduction option</i>	<i>When available</i>	<i>Emission reduction kg NH<sub>3</sub>/animal/year<sup>2</sup></i>	<i>Costs /kg reduced emission</i>	<i>Applicable in existing barns or new to build barns</i>	<i>Positive or negative side effects</i>	<i>Sensitivity emission reduction</i>	<i>Summarizing score<sup>3</sup></i>
Rubber		?		Existing			++
Bitumen							+
<b>Cleaning and washing systems</b>							
Washing slatted floor		8,6/7,5		Existing	G		-
Washing solid sloping floor		8,6/7,5		New	G		-
Washing solid sloping floor <sup>5</sup>	BB 94.02.15v1	7,8/6,8		New	G		-
Washing slatted floor with water		13%		Existing	G		-
Washing slatted floor with formalin		40-50%		Existing	G		-
Washing solid sloping floor with formalin		87%			G		-
<b>Slurry storages</b>							
Immediately removing slurry from barn		50%		New			+
No slurry storage in animal housing		50%		New			++
Covering slurry storage with				Existing			-
Straw		70%					-
Construction		48%					-
Fluid							-
Floating		76-81%					-
i.c.w. air scrubbing							++
Photo-catalytic filtering i.c.w. covering				Existing			+
<b>Slurry processing</b>							
Quick drying <sup>6</sup>				Existing	F		+
Separation				Existing			+
Acidification		70%		Existing			-
Aeration				Existing			-
Cooling				Existing			-
Supplements				Existing			-
Dilution				Existing			-
Adsorption by clay minerals				Existing			-

<sup>1</sup> Emitting surface of max 1,2 m<sup>2</sup> per cow.

<sup>2</sup> Zero Grazing

<sup>3</sup> ++: very positive; +: positive; -: negative; --: very negative

<sup>4</sup> Max 3 m<sup>2</sup> emitting surface per cow

<sup>5</sup> One way sloping floor with Max 3 m<sup>2</sup> emitting surface per cow

<sup>6</sup> Forces air movement with air scrubbing

A: Reduced welfare because of less workability of floor

B: Mechanical ventilation increases costs (electricity) and CO<sub>2</sub> emission

C: Minimal ventilation required for removal of heat.

D: Reduced welfare because of limited space.

E: Probably increased methane emissions .

F: Increased energy demand. Combination with anaerobic digestion promising.

G: Increasing amount of slurry

## Reduction options methane

Reduction option	RAV number	Emission factor	Cost effectiveness	Applicable	Trade offs	Sensitivity	Priority for further research
<i>Title or number of reduction option</i>	<i>When available</i>	<i>Emission reduction kg CH<sub>4</sub>/ton slurry</i>	<i>Costs /kg reduced emission</i>	<i>Applicable in existing barns or new to build barns</i>	<i>Positive of negative side effects</i>	<i>Sensitivity emission reduction</i>	<i>Summarizing score</i>
<b>Housing systems</b>							
Deep litter	n/a	1,3 kg/dp per year					+
Tie stall <sup>1</sup>	n/a						-
Cubicle system	n/a	1,420					-
<b>Ventilation</b>							
Bio filter	n/a	46,0 <sup>3</sup>	€ 110 <sup>4</sup>				+ <sup>5</sup>
Flaring	n/a	83,5 <sup>2</sup>	€ 34 <sup>4</sup>				+ <sup>5</sup>
<b>Feed</b>							
Adaptation of rations	n/a						++
<b>Slurry storages</b>							
Immediately removing slurry from barn	n/a	0,215					+
No slurry storage in animal housing	n/a	0,092					++
Covering slurry storage							-
<b>Slurry processing</b>							
Anaerobic digestion with co-products	n/a		€-1				++
Anaerobic digestion (mesophilic)		0,471 <sup>1</sup>	€-13				++
Anaerobic digestion (< 20° C)							+
Increased pH		1,312					-

<sup>1</sup> At methane leakage of 5%

<sup>2</sup> CO<sub>2</sub>-equivalents per animal per year

<sup>3</sup> At 50% emission reduction

<sup>4</sup> Per ton CO<sub>2</sub> equivalent

<sup>5</sup> Only in combination with NH<sub>3</sub> emission reduction with separated ventilation

# Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ontwikkelingen in sector, beleid en onderzoek</b> .....	<b>2</b>
2.1	Ontwikkelingen in de sector .....	2
2.2	Bedrijfsomvang en staltype in de melkveehouderij .....	2
2.3	Nationale uitstoot ammoniak en methaan .....	3
2.4	Nationaal beleid .....	3
2.5	Internationaal beleid .....	4
2.6	Onderzoek naar ammoniak- en methaanemissie .....	5
<b>3</b>	<b>Processen en factoren</b> .....	<b>6</b>
3.1	Vee en voeding .....	6
3.2	Stal en mestopslag .....	7
3.3	Stuurvariabelen .....	11
<b>4</b>	<b>Reductieopties</b> .....	<b>15</b>
4.1	Ammoniak .....	15
4.2	Methaan .....	50
<b>5</b>	<b>Overzichtstabel</b> .....	<b>61</b>
5.1	Reductieopties ammoniak .....	61
5.2	Reductieopties methaan .....	64
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek</b> .....	<b>65</b>
	<b>Literatuur</b> .....	<b>67</b>

## 1 Inleiding

De rundveehouderij is in Nederland een van de grootste bronnen van methaan- en ammoniakemissie uit de landbouw. Vooral door de overwegend natuurlijke ventilatie zijn (integrale) oplossingen voor de emissies van methaan, ammoniak en geur uit stallen beperkt. In het verleden zijn nieuwe stalvloeren, spoelsystemen en aanzuuropties onderzocht en ontwikkeld, vooral vanuit het oogpunt van ammoniakemissiereductie, waarbij bijvoorbeeld de sleufvloer positief scoort op zowel methaan als ammoniak.

Gezien de bijdrage van de rundveesector aan beide emissies en de (verwachte) emissieplafonds in de toekomst is een analyse nodig van mogelijkheden om verdergaande emissiereducties vanuit rundveestallen te kunnen ontwikkelen, testen en toepassen. Een aantal sporen is al uitgezet, zoals een studie naar de luchtzuivering bij onderafzuiging van lucht uit rundveestallen, mogelijkheden van toevoegmiddelen aan mest, aanpassingen aan de veevoeding, maar deze opties hebben veelal alleen óf ammoniak óf methaan als doel.

Deze deskstudie gaat uit van de processen en factoren die bij de vorming en emissie van ammoniak en methaan vanuit de rundveestal een rol spelen en resulteert in een optietabel voor oplossingsrichtingen. Deze optietabel levert in een vervolgtraject aanknopingspunten voor gericht vervolgonderzoek. Tijdens deze deskstudie wordt niet alleen aandacht besteed aan de betreffende emissies vanuit bestaande stalsystemen maar betreft ook nieuwe ontwikkelingen op het gebied van bedrijfsgebouwen en inrichting.

### Doel

Doel van het project is een basis te genereren voor de verdere ontwikkeling van integrale oplossingen voor de emissie van methaan en ammoniak vanuit natuurlijk geventileerde stallen voor rundvee, rekening houdend met reeds uitgevoerd en lopend onderzoek in nationaal en internationaal kader.

### Afbakening

Over de technische mogelijkheden om de ammoniak- en geuremissie in de vleeskalverenhouderij te verminderen, is eerder een Quick Scan uitgevoerd (Smits *et al.*, 2005). In dit rapport zal de vleeskalverenhouderij daarom slechts beperkt aan de orde komen.

Het belang van rundvee voor de roodvleesproductie is in Nederland vrij beperkt. Extensievere vormen van vleesveehouderij met veel weidegang nemen daarbinnen toe terwijl intensieve vormen van (rood-) vleesveehouderij met permanente opstalling in omvang afnemen. De bijdrage aan de stalemissie van deze vormen van vleesveehouderij is klein. Daarom wordt in dit rapport slechts zijdelings aandacht besteed aan deze categorie. De verkenning van technische mogelijkheden voor reductie van emissies zal voornamelijk focussen op melkveestallen. De principes van emissievermindering daaruit zijn overigens ook overdraagbaar naar de andere rundveehouderijtakken.

### Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van een aantal relevante ontwikkelingen in de melkveesector, beleid en onderzoek. Hoofdstuk 3 gaat in op de processen en factoren die leiden tot de emissie van ammoniak en methaan. Daaruit komen reductieopties naar voren die beschreven worden in hoofdstuk 4. Deze opties worden samengevat in een tabel die opgenomen is in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 zijn de conclusies opgenomen en wordt een plan van aanpak voor vervolgonderzoek gepresenteerd.



## 2 Ontwikkelingen in sector, beleid en onderzoek

### 2.1 Ontwikkelingen in de sector

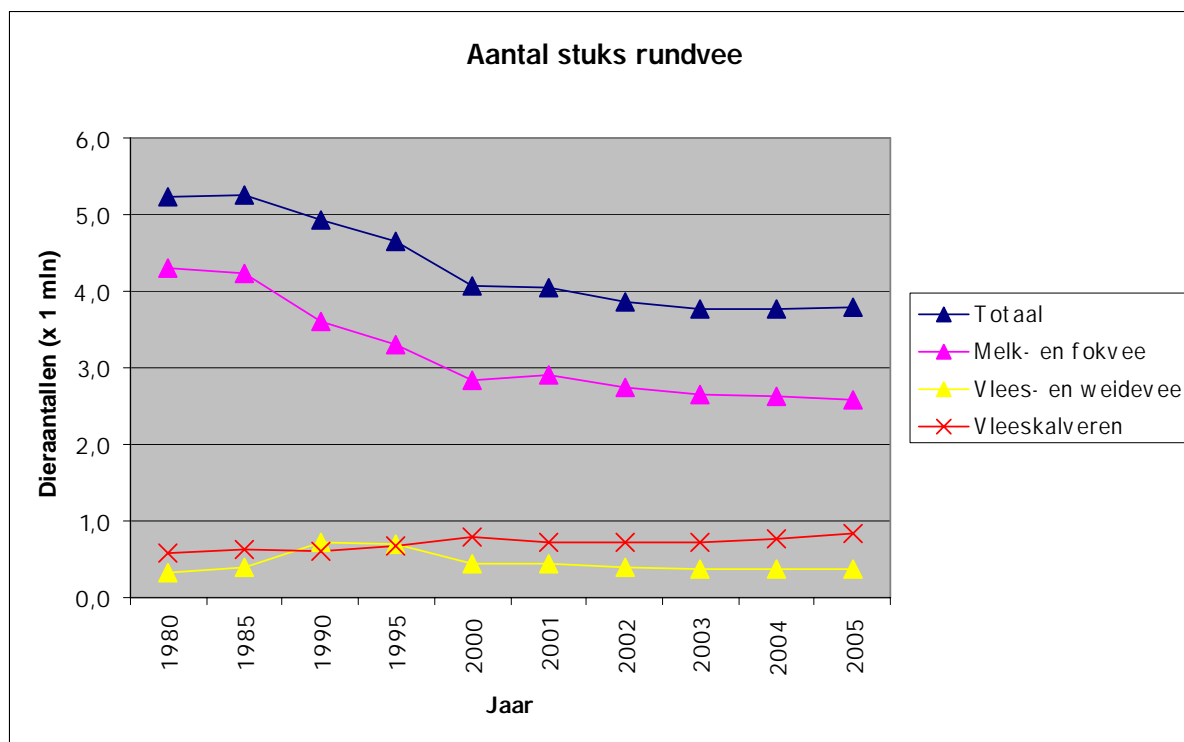
De rundveesector bestaat uit drie grote deelsectoren: het vlees- en weidevee, het melk- en fokvee en de vleeskalveren. In deze paragraaf worden een aantal ontwikkelingen in deze sectoren op een rij gezet.

De dieraantallen volgens de landbouwtelling geven het relatieve belang van de verschillende diercategorieën in de rundveesector weer. Uit Figuur 1 blijken tussen 1980 en 2005 de volgende trends:

- De melkveestapel is sinds 1980 met ca 1,7 miljoen dieren afgenomen tot 2,6 miljoen dieren (inclusief jongvee) in 2005. De afname betreft zowel melkkoeien (afname circa 1 miljoen tot 1,4 miljoen in 2005) als jongvee (afname circa 700.000 tot 1,1 miljoen in 2005);
- Het aantal vleeskalveren voor de witvlees- en roséveesproductie is tussen 1980 en 2005 toegenomen met ongeveer 240.000 dierplaatsen;
- Het aantal vleesrunderen voor de roodveesproductie is in de jaren negentig eerst fors toegenomen maar daarna weer gedaald, waardoor het verschil in 2005 ten opzichte van 1980 uiteindelijk gering is.

Uitgedrukt in dieraantallen is binnen de rundveesector de melkveehouderij in Nederland nog steeds veruit het belangrijkste gevolgd door de vleeskalverenhouderij en de rundveehouderij voor de roodveesproductie.

**Figuur 1** Overzicht van het verloop van de omvang van de rundveestapel in Nederland tussen 1980 en 2005 (CBS, 2007)



### 2.2 Bedrijfsomvang en staltype in de melkveehouderij

Een van de redenen voor de afnemende melkveestapel is de toename van de melkproductie per dier bij een gelijkblijvend nationaal melkquotum. Het aantal bedrijven nam echter procentueel sterker af: van 37.465 melkveebedrijven in 1995 tot 23.527 melkveebedrijven in 2005. Als gevolg daarvan nam het aantal koeien per melkveebedrijf toe. Deze schaalvergroting verloopt geleidelijk: jaarlijks neemt het totale aantal melkveebedrijven met gemiddeld circa 4,5% af. De grotere bedrijven breiden om fiscale redenen vaak ook geleidelijk uit door jaarlijks quotum en grond aan te kopen van de veelal kleinschaligere bedrijfsbeëindigers.

Schaalvergroting gaat veelal gepaard met uitbreiding van een bestaande melkveestal of nieuwbouw van een stal. Dit zijn investeringsmomenten waarbij emissiereducerende technieken in de stal geïmplementeerd kunnen worden. Daarnaast kunnen dergelijke investeringen aan de orde komen bij renovatie van bestaande stallen (veelal

nadat de technische of economische afschrijvingstermijn verstreken is) of als door de wetgever een 'deadline' gesteld is. Grotere, vaak kapitaalcrachtigere bedrijven zijn wellicht beter in staat om in emissiereducerende stallen te investeren dan de kleine bedrijven. Vaak is het bedrijfseconomische resultaat op de kleine bedrijven onvoldoende om effectief gebruik te kunnen maken van fiscale faciliteiten zoals VAMIL en MIA. Kleine bedrijven kiezen er vaak voor om het bedrijf op termijn te beëindigen en niet meer te investeren in nieuwbouw of renovatie van bedrijfsgebouwen. Toenemende grootte van levensvatbare bedrijven stimuleert dus de implementatie van emissiereducerende maatregelen.

Ongeveer 86% van de melkkoeien in Nederland is gehuisvest in een ligboxenstal; bij ruim 70% daarvan gaat het om een stal met roostervloer zonder mestschuif, bij ruim 20% om een stal met roostervloer én mestschuif (Leusinck, 2005).

Circa 7% van het melkvee en 9% van het jongvee ouder dan 1 jaar is gehuisvest in een grupstal. Ruim 2% van het melkvee is gehuisvest in een potstal. In 2000 hadden slechts 127 melkveebedrijven hebben een emissie reducerend huisvestingssysteem met een hellende dichte vloer (RAV categorie A 1.2 t/m A 1.4) (CBS, 2007). In totaal is ruim 2% van het melkvee gehuisvest in een ligboxenstal met een dichte vloer (vlak of hellend; met of zonder giergoot). Circa 2% van het melkvee is gehuisvest in een loopstal met sleufvloer en mestschuif.

## 2.3 Nationale uitstoot ammoniak en methaan

### Ammoniak

Volgens cijfers van het CBS (CBS, 2007) bedroeg de nationale uitstoot van ammoniak uit de landbouw in 2005 120 kton. In 1990 was dit nog bijna het dubbele: 237 kton. De lagere ammoniakuitstoot is in de jaren negentig is eerste instantie bereikt door afname van de veestapel en het op steeds grotere schaal emissie arm toedienen van dierlijke mest. Vanaf de tweede helft van de jaren negentig is de emissiereductie tevens bewerkstelligd door introductie van emissie reducerende stallen in de varkens- en pluimveehouderij.

**Tabel 1** Berekende ammoniakuitstoot vanuit de landbouw in kton/jaar. (CBS, 2007 en VROM, 2003)

	1990	1995	2000	2005	NEC-richtlijn
Landbouw	237	179	139	120	96
Totaal	250	193	152	133	128

Bij alle berekende emissies moet rekening worden gehouden met bandbreedtes vanwege onzekerheden ten aanzien van de veronderstellingen die gedaan moeten worden. In de berekeningen wordt uitgegaan van emissiefactoren die veelal gebaseerd zijn op metingen op een beperkt aantal objecten. Dit onder condities die qua bedrijfsvoering niet precies de gemiddelde praktijk, de variaties en de trends daarin hoeven te representeren. De invloed van het management op de emissie is groot.

### Methaan

Methaan (CH<sub>4</sub>) is een broeikasgas. Broeikasgassen hebben tot gevolg dat de aarde geleidelijk opwarmt (global warming). Het global warming potentieel (GWP) van broeikasgassen wordt uitgedrukt in CO<sub>2</sub> equivalenten. Methaan heeft een GWP van 21. De totale emissie van broeikasgassen in Nederland was in 2005 212,1 Mton CO<sub>2</sub> equivalenten (Brandes *et al.*, 2007). Daarvan is 16,7 Mton afkomstig van methaan en 17,6 Mton van lachgas. Lachgas heeft een GWP van 310. Hoewel het aandeel van de landbouw in de totale broeikasgasemissie beperkt is (13%) wordt wel meer dan de helft van het methaan en lachgas in de landbouw uitgestoten (voor beiden 53%) (CBS, 2007). De emissie van methaan uit de landbouw bedraagt 8,8 Mton CO<sub>2</sub>equivalenten. Er zijn wat betreft de emissie van methaan twee belangrijke bronnen aan te wijzen: pens- en darmfermentatie en emissie uit mest. De eerste bron bedraagt 6,3 Mton en de tweede bron 2,5 Mton. Voor beide bronnen geldt dat de rundveehouderij de grootste bijdrage levert: 5,7 respectievelijk 1,4 Mton ofwel respectievelijk 90% en 56% (Brandes *et al.* 2007).

## 2.4 Nationaal beleid

Het ammoniakbeleid in Nederland kent vier sporen en een aanvullend spoor. De vier sporen zijn: emissiearm aanwenden van mest (Besluit gebruik meststoffen, Bgm), emissiearme huisvesting (Besluit Huisvesting), afdekken van mestopslag (Besluit Mestbassins) en het veevoerspoor. Daarnaast is er de zonering rond de zeer kwetsbare natuurgebieden (Wav). Dit generieke beleid is er om te voldoen aan het nationale plafond voor ammoniak op basis van de NEC-richtlijn (zie onder internationaal beleid).

Aan de emissie van methaan wordt op bedrijfsniveau geen eisen gesteld. Wel gelden er nationale doelstellingen voor het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen. Er is een emissieplafond voor de uitstoot van niet-CO<sub>2</sub> broeikasgassen van 25-27 Mton in het jaar 2020. Deze doelstelling heeft geleid tot een subsidie- en stimuleringsprogramma voor de verschillende sectoren die methaan of andere broeikasgassen uitstoten, het zogenaamde reductieplan overige broeikasgassen dat ook betrekking heeft op de landbouw.

## 2.5 Internationaal beleid

### Ammoniak

Internationaal zijn er verschillende kaders waarbinnen regels worden gesteld aan gasvormige emissies op bedrijfsniveau of nationaal niveau. Binnen Europa wordt de ammoniakemissie gereguleerd door een aantal richtlijnen en verdragen met als belangrijkste:

- IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control)
- NEC (National Emission Ceiling)
- UNECE

### IPPC

Voor grotere, complexere installaties heeft de EU in 1997 de Richtlijn 'Integrated Prevention and Pollution Control' (IPPC) opgesteld. De IPPC is opgesteld om de integrale milieubelasting van bodem, water en lucht van industriële installaties te reguleren en te beperken. Voor de intensieve veehouderij heeft de IPPC betrekking op bedrijven met vleesvarkens (>2000), zeugen (>750), leghennen (>40.000) en vleeskuikens (>40.000). Voor de rundveehouderij is de IPPC-richtlijn vooralsnog niet van toepassing. De IPPC-richtlijn verplicht de lidstaten van de EU om grote milieuvervuilende bedrijven te reguleren door een integrale vergunning gebaseerd op de beste beschikbare technieken (BBT). In Nederland is de richtlijn in de Wet milieubeheer (Wm) en in de Wet verontreiniging oppervlaktewateren (Wvo) geïmplementeerd. De best beschikbare technieken zijn BBT-Referentiedocumenten (BREF's) zijn te vinden op [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl)

### NEC

In het kader van de NEC-richtlijn zijn nationaal afspraken gemaakt over zogenaamde emissieplafonds voor het jaar 2010 voor vier stoffen, waaronder ammoniak. Op dit moment lopen er discussies over het plafond 2020. Hoe hoog dit plafond wordt is op dit moment nog niet duidelijk en voor welke stoffen er in 2020 plafonds komen is ook nog niet duidelijk.

### UNECE

Naast Europese regelgeving is in het kader van de United Nations Economic Council for Europe (UNECE), dat een betere werking heeft dan Europa, de zogenaamde 'Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (CLTRAP)' al gedurende enkele decennia van kracht. Onderdeel daarvan is het Gothenburg protocol dat grenzen stelt aan de emissie van ammoniak (vergelijkbaar met NEC). Binnen dit protocol is voor ammoniak een 'Framework Advisory code of Good Agricultural Practice for Ammonia Abatement' opgesteld door de 'Expert Group on Ammonia Abatement'. Dit document is in grote lijnen vergelijkbaar met de BREF onder de IPPC-richtlijn. Echter, binnen de CLTRAP-conventie wordt voor de veehouderij geen onderscheid gemaakt naar diersoort en er is voor ammoniak een aparte leidraad (Advisory Code) opgesteld. De Code heeft, net zoals de BREF, betrekking op:

- veevoeding
- mestopslag
- stallen
- mesttoediening

Een verschil met de EU-regelgeving is dat CLTRAP pas bindend wanneer het protocol door een bepaald land wordt geratificeerd. Dit is nog lang niet voor allen betrokken landen het geval, zodat het geheel vooralsnog een wat vrijblijvender karakter heeft. Overigens zijn bij de CLTRAP-conventie aanzienlijk meer landen betrokken dan de EU-25, zodat het bereik in potentie groter is dan van de EU-richtlijnen.

### Methaan

Op het gebied van broeikasgassen waaronder methaan zijn in het Kyoto verdrag internationaal afspraken gemaakt over het terugdringen van de uitstoot. Binnen de EU zijn deze afspraken vertaald naar nationale emissiereductiedoelstelling.

## 2.6 Onderzoek naar ammoniak- en methaanemissie

### Ammoniak

Het onderzoek naar de gasvormige emissies (en verliezen) uit de landbouw is ca. 30 jaar geleden begonnen. De geurhinder was het eerste milieuprobleem waarmee de boeren te maken kregen. Uit die tijd stammen de eerst aanzetten voor:

- De ontwikkeling van olfactometrie om de uitstoot van geur objectief te kunnen vaststellen.
- De ontwikkeling van geurverminderende technieken zoals injecteurs voor mest en luchtzuivering (biofilters, wassers) voor mechanisch geventileerde stallen
- Een methode om de geurhinder wettelijk te regelen d.m.v. mve's (mestvarkeneenheid) een bijbehorende afstandengrafiek.

Ongeveer 20 jaar geleden werd de NH<sub>3</sub>-emissieproblematiek evident, gevoed door onderzoek op het gebied van verzuring en eutrofiëring van de natuur. Het beleid van het 'eerste uur' betrof het vaststellen van kritische depositiewaarden voor verschillende typen ecosystemen, tegenwoordig 'natuurdoeltypen' genoemd, gebaseerd op intensief onderzoek. Ook werd intensief onderzoek uitgevoerd naar emissiereducerende maatregelen in het kader van de Commissie Hinderpreventie Veeteeltbedrijven, het Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek, en het Zure Regen Onderzoek. Voorbeelden hiervan zijn:

- Afdekken van mestopslagen
- Verschillende emissiearme mesttoedieningstechnieken
- Emissiearme stallen
- Veevoedingsmaatregelen

Ook werden in die periode methoden ontwikkeld om NH<sub>3</sub> te meten (brongericht, maar vaak onder geconditioneerde omstandigheden) en te berekenen (procesmodellen, nationale emissiemodellen).

In de jaren 90 kreeg het geuronderzoek een nieuwe impuls. Het protocol voor geurmetingen werd aangepast en de geuremissie van de meeste ammoniakarme stallen werd bepaald

Van recentere datum is de problematiek van de emissies van overige broeikasgassen en fijnstof, met als probleemgebied respectievelijk de klimaatsverandering en de gezondheid van mens en dier.

Onderzoek naar ontstaan en emissie van ammoniak heeft geleid tot een hele reeks van maatregelen ter vermindering van de uitstoot. Deze maatregelen zijn in te delen naar een aantal werkingprincipes. In hoofdstuk 3 zal op deze werkingsprincipes worden ingegaan.

Een aparte plaats in het onderzoek naar ammoniakemissie wordt ingenomen door het monitoren van ammoniakemissie in praktijksituaties. In het project Koeien en Kansen (K&K) zijn stalemissies tijdens een beperkt aantal kortdurende meetsessies gemeten (Smits en Huis in 't Veld, 2006). De K&K bedrijven lopen voorop in mineralenmanagement. De gemeten emissies op K&K bedrijven kunnen daarom niet als representatief voor de Nederlandse melkveepopulatie beschouwd worden. Wel kan uit de meetresultaten geconcludeerd worden dat de ventilatie een grote invloed heeft op de ammoniakuitstoot: bij (ver)grote ventilatieopeningen en hogere windsnelheden is het emissieniveau beduidend hoger dan bij kleinere ventilatieopeningen.

### Methaan

Het onderzoek naar de uitstoot van methaan en de mogelijkheden deze emissie te beperken is onder invloed van de toenemende aandacht voor en discussie over het broeikaseffect in de loop van de jaren 90 op gang gekomen. Veel onderzoek heeft plaatsgevonden in het kader van het reductieprogramma overige broeikasgassen (ROB) waarin per sector (waaronder de landbouw) aandacht werd besteed aan inventarisatie van emissies en mogelijkheden deze te verminderen. In eerste instantie heeft dit onderzoek zich vooral gericht op de vermindering van de emissie uit mest en is aandacht gegeven aan de mogelijkheden van affakkelen of filteren van ventilatielucht of het vergisten van de mest en het opvangen en verbranden van het daarbij ontstane methaan. Later is er ook onderzoek ingezet naar de mogelijkheden om de methaanemissie uit pens- en darmfermentatie te verminderen.

Eerder zijn door Groot Koerkamp *et al.* (1998) in het kader van het EU-project 'Areal Pollutants' emissies van diverse diercategorieën tijdens kortdurende 'Quick Scan' metingen op enkele bedrijven per staltype gemeten. Dit werd gedaan in Engeland, Denemarken, Duitsland en Nederland.

### 3 Processen en factoren

De gasvormige emissies vanuit de landbouw (m.n. veehouderij) zijn afkomstig uit de N- en C-kringloop, die begint bij het vee en 'eindigt' bij het aanwenden van dierlijke mest als meststof. Beide kringlopen bestaan in beginsel naast elkaar (N is afkomstig uit eiwitten; C uit koolhydraten, zoals celwandmateriaal), maar grijpen op enkele plaatsen ook in elkaar. Dit is het meest relevant in het dier en in de bodem. Elke brontype op het bedrijf – het gestalde vee (incl. het voer), de stal (incl. de inrichting en mestopslag), grazend vee en toegediende mest – kent haar eigen variatie en dynamiek in gasvormige emissies. De hoofdprincipes voor emissiebeperking zijn dus af te leiden uit de processen en factoren die per bron van belang zijn bij het ontstaan en het ontwijken van de verschillende gassen. In een aantal gevallen zijn voor een aantal brontypen dezelfde processen en factoren relevant; soms ook zijn er aanzienlijke verschillen. De overeenkomsten zijn in beginsel dé handvatten voor integratie van maatregelen; de verschillen zijn aanleiding tot differentiatie.

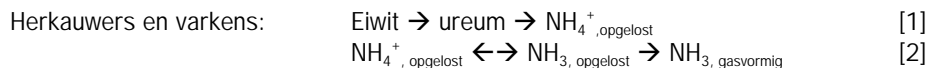
#### 3.1 Vee en voeding

Het rantsoen van graasdieren (rundvee) bestaat in algemene zin uit een mengsel van gras- en maïs silage, dat op het eigen bedrijf wordt geteeld, gewonnen en geconserveerd, en krachtvoer dat hoofdzakelijk uit geïmporteerde ingrediënten is gemaakt.

##### Ammoniak

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) wordt niet door het dier uitgescheiden, maar ontstaat bij omzetting van ureum (urine) en organisch gebonden stikstof (feces).

De relatie tussen veevoeding en  $\text{NH}_3$ -emissie is in de jaren '80 en '90 uitvoerig onderzocht. De volgende processen en factoren zijn daarbij aan de orde:



Reactie [1] speelt zich af in de urine nadat die door rundvee en varkens is uitgescheiden. Het ureum in de urine is een product van de omzetting van eiwit in de darmen. Voor de omzetting van ureum is het enzym 'urease' nodig. Deze komt voor in de feces en is dus ook aanwezig op oppervlakken die met feces in aanraking zijn geweest. Daarnaast bevat de bodem ureasevormers. De omzetting van ureum vindt snel plaats. Binnen enkele uren van de ureumvoorraad uitgeput zijn. Reactie [2] is de eigenlijke emissiereactie, waarbij  $\text{NH}_3$  ontsnapt aan de oplossing (bijv. een urineplas of drijfmest) en in de lucht terecht komt.

De enige veevoeding gerelateerde factoren is het gehalte aan ureum in de excreta (lineair effect op de  $\text{NH}_3$ -emissie). Als het ureumgehalte in de urine bekend is kan dus de potentiële  $\text{NH}_3$ -emissie worden voorspeld. Het ureumgehalte is echter lastig te voorspellen of te meten en afhankelijk van vele factoren, zoals eiwitgehalte van het voer (OEB-gehalte = Onbestendig Eiwit Balans bij rundvee; RE = Ruw Eiwit gehalte), de opname van zouten en de beschikbaarheid van drinkwater, die het urinevolume bepalen. Beter is het om het OEB-gehalte of het RE-gehalte van het rantsoen te bepalen. De relatie tussen OEB/RE en  $\text{NH}_3$ -emissie is goed bekend en redelijk voorspelbaar. OEB is echter weer lastig te meten, omdat daarvoor voer moet worden bemonsterd en geanalyseerd. Dit maakt controle en handhaving moeilijk. Makkelijker is het voor RE, aangezien deze informatie direct door de voerleverancier beschikbaar wordt gesteld aan de boer. Voor ruwvoerders zijn richtlijnen opgenomen in de Handleiding voederwaardeberekening ruwvoerders van het CVB.

Voor rundvee is gebleken dat het ureumgehalte in de melk een goede indruk geeft van de stikstofaspecten van het rantsoen en dus ook van de  $\text{NH}_3$ -emissie. Deze parameter is ook goed te meten, bijv. door de reguliere melkcontrole. Hierdoor is een cijfer achteraf (bijv. na 3 weken) beschikbaar. Dit is voldoende om op langere termijn te sturen. Ook zijn er mogelijkheden voor online meting van het melkureum. De controle- en handhavingaspecten zijn goed. Dus is het logisch dat deze outputparameter als wettelijk instrument is gekozen voor de melkrundveehouderij. Tabel 2 geeft een overzicht van de factoren rond voeding en urineproductie die de ammoniakemissie bepalen, de meetbaarheid en het perspectief.

**Tabel 2** Invloedsfactoren rond voeding en ammoniakemissie

Invloedsfactoren	Effecten	Meetbaarheid	Perspectief
Ureumgehalte urine	Hoog	Niet	Laag
Volume urine	Gemiddeld	Niet	Laag
OEB-gehalte voer		Laag	Laag
RE-gehalte voer		Hoog	Gemiddeld
Ureumgehalte melk		Hoog	Hoog

### Methaan

Er zijn twee bronnen van methaanemissie aan te wijzen. Methaan kan afkomstig zijn uit de pens (herkauwers) en/of uit de dikke darm (herkauwers en dieren met één maag) en ontstaat door de afbraak van organische stof, zoals celwandmateriaal. Deze afbraak kan vereenvoudigd worden weergegeven als:



In werkelijkheid is de vorming van CH<sub>4</sub> een uiterst complex en nog maar ten dele begrepen proces.

Een recente overzichtsstudie voor ROB landbouw (Tamminga *et al.*, 2007) heeft duidelijk gemaakt dat er vele theoretische mogelijkheden zijn om de vorming en uitstoot van methaan uit dieren te verminderen, waaronder:

- verhoging van de verteerbaarheid van m.n. celwandbestanddelen
- toevoegingen aan het voer (bijv. propionaatremmers)
- verhoging productiviteit
- gebruik van probiotica

Veel van deze oplossingen zijn zuiver theoretisch van aard. In praktische zin heeft het vervangen van ruwvoer (24 g CH<sub>4</sub>/kg droge stof) door krachtvoer (20 g CH<sub>4</sub>/kg droge stof) effect. Ook is er een relatie met de melkgift (gemiddeld 14 g CH<sub>4</sub>/kg melk), maar dit gemiddelde doet geen recht aan mogelijkheden om via productieverhoging de CH<sub>4</sub>-emissie te verminderen (gelijk op dierniveau; minder dieren om het quotum vol te melken, dus in totaal minder CH<sub>4</sub>).

Inzet van de kennis van de verteerbaarheid van verschillende rantsoencomponenten voor herkauwers in de vorm van een pensmodel mag worden gezien als een veelbelovende manier om de theoretische kennis te vertalen in een methode om helderheid te krijgen in de knoppen waaraan een boer kan draaien om de CH<sub>4</sub>-emissie te verminderen. Het is echter onzeker of hieraan ook handvatten voor beleidsinstrumenten c.q. voor inventariserende studies (monitorbare parameters) kunnen worden ontleend.

### 3.2 Stal en mestopslag

De stal en haar inrichting zijn in algemene zijn de belangrijkste omgeving voor landbouwhuisdieren. De stal biedt daarbij beschutting/onderdak en is tevens de belangrijkste werkplek voor de boer, terwijl de inrichting specifiek is afgestemd op het doel waarvoor de dieren worden gehouden en op de diersoort (functionele elementen). De stalvorm en de inrichting hebben in de loop van de jaren grote veranderingen ondergaan, mede onder invloed van de specialisatie in de dierhouderij en de daarmee samenhangende productieverhoging. Meer recent is duidelijk geworden dat het welzijn van de landbouwhuisdieren belangrijk is, onder andere uit consument- en burgerperspectief. Dit vraag om toevoeging van belangrijke nieuwe elementen bij nieuwe stalontwerpen, aangezien steeds meer wordt uitgegaan van het dier (natuurlijke gedragingen) als vertrekpunt en in mindere mate sec de houderij (shelter) en productie.

### Ammoniak

Stal en inrichting zijn bepalend voor de hoeveelheid gevormd NH<sub>3</sub> die als gas naar de stallucht (en in principe dus ook naar de buitenlucht, via ventilatie) ontwijkt. Indien alle mest permanent in de stal verblijft, dan zal alle uit ureum (en deels ook uit organische stikstof) geproduceerde NH<sub>3</sub> vervluchtigen. Belangrijk is het dus, om zodanige condities te creëren dat:

- ureum zo traag mogelijk wordt afgebroken
- zoveel mogelijk niet-vluchtig ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) wordt gevormd
- gasvormig NH<sub>3</sub> moeilijk kan vervluchtigen
- vervluchtigd NH<sub>3</sub> niet in de buitenlucht terecht kan komen

### a. *Afbraakprocessen*

De afbraak van ureum is onder normale stalomstandigheden (temperaturen > 10 °C; bevulde oppervlakken) binnen enkele uren na urineproductie voltooid, mede omdat urine direct in contact wordt gebracht met feces (op een vloer; in de mestkelder) of met oppervlakken die met feces (urease) zijn bevuld. Vergaande koeling van bevulde oppervlakken (stalvloer, mestoppervlak in de kelder) is slechts een theoretische optie om ureumafbraak tegen te gaan. In het verleden zijn daarnaast experimenten uitgevoerd met het behandelen van vloeren met zuur (wegnemen urease) en met ureaseremmers (vermindering enzymactiviteit). Aan beide oplossingen kleven vooral praktische bezwaren, zoals een extra systeem en extra mestvolume (spoelsysteem) in de stal of dure vloercoatings. Daarnaast moet de ureaseactiviteit vergaand worden gereduceerd (> 90%) of de temperatuur drastisch (<< 10 °C) worden verlaagd om enig effect op de afbraak te hebben: niet de motor (omzetting onder invloed van het enzym urease), maar de 'brandstof' (ureum) is de beperkende factor.

In theorie zou de ureumafbraak niet op gang komen wanneer contact tussen feces/bevulde oppervlakken en urine zou worden voorkomen. Binnen de rundveehouderij is dit onmogelijk, omdat koeien een 'at random' mestgedrag vertonen en dus mesten en urineren op het gehele beschikbare oppervlak. Systemen die het dichtst in de buurt komen van het voorkomen van contact tussen urine en feces/bevulde oppervlakken zijn:

- de sleufvloer, waarbij vaste mest frequent met een mestschuif van het vloeroppervlak wordt verwijderd en urine door gaatjes in de groeven naar de onderliggende kelder wordt afgevoerd
- de Herculesstal voor varkens, waar onderzoek is gedaan naar het afvoeren van vaste mest onder de roosters met een mestband en gescheiden urineopslag

In het verleden is ook geprobeerd om door coating van keldervloeren, gecombineerd met een frequente verwijdering van de excreta, de vorming van urease tegen te gaan. Dit is echter niet succesvol gebleken. Omdat slechts een geringe bevulling al kan leiden tot ureaseactiviteit, leidt elk contact met urine tot een afbraak van ureum, zodat hierin geen praktische oplossingen liggen.

### b. *Vorming van ammonium*

Zoals formule [2] laat zien, is het goed oplosbare ammonium (geïoniseerd ammoniak;  $\text{NH}_4^+$ ) in een waterige oplossing (zoals urine en mengmest) in evenwicht met gasvormig  $\text{NH}_3$ . Dit evenwicht wordt bepaald door een samenspel van zuurgraad (pH; meer  $\text{NH}_4^+$  bij lagere pH) en temperatuur (meer  $\text{NH}_4^+$  bij hogere temperatuur), waarbij pH verreweg de overhand heeft.

Aanzuren is een voor de hand liggende, theoretisch zeer effectieve optie. Dit is in het verleden uitvoerig onderzocht. Daarbij is vooral gewerkt aan het toevoegen van zuur (organisch, zoals mierenzuur, en anorganisch, zoals salpeter- of zwavelzuur) aan de mest in de stal. Organische zuren worden daarbij gewoonlijk afgebroken (o.a. tot  $\text{CO}_2$ ) en zijn in het algemeen duur. Anorganische zuren zijn relatief goedkoop, maar de mineralen blijven achter in de mest. Dit leidt tot hogere stikstof- (salpeterzuur), zwavel- (zwavelzuur) of fosfaat- (fosforzuur)gehalten in de mest, wat veelal ongewenst of in ieder geval lastig controleerbaar en handhaafbaar is. Daarnaast kan bij salpeterzuur lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) worden gevormd, wanneer de zuurgraad onvoldoende daalt (denitrificatie van nitraat). Ook kan worden aangezuurd op een 'natuurlijke' manier. Er is bijvoorbeeld tarwemeel en melasse aan de mest toegevoegd i.c.m. een ent van melkzuurbacteriën. Hierdoor "verzuurt" de mest zichzelf. Onderzoek heeft aangetoond dat door verschillende toevoegingen aan veevoer, o.a. benzoëzuur, een daling van de pH van urine en mengmest kan worden gerealiseerd. Dit biedt perspectieven voor de intensieve dierhouderij, waarbij de voerproductie fabrieksmatig plaatsvindt. Bij toevoegingen aan het veevoer op de boerderij is het aspect van controle en handhaving problematischer, maar kan de oplossing ook effectief zijn.

Er zijn betrouwbare pH-meters, die ook in de praktijk toegepast kunnen worden. Het is echter moeilijk om te bepalen wanneer de pH bepaald moet worden en de pH van mengmest is steeds aan verandering onderhevig. Het bemonsteren en analyseren (op pH) van de urine is lastig en bewerkelijk, terwijl voor mest het probleem vooral ligt in de veranderingen van de pH tussen het moment van monsternamen en analyse (naast fraudegevoeligheid bij transport; zie MINAS-verfijnde route).

Temperatuurverlaging, bijvoorbeeld door mestkoeling, gaat de vorming van  $\text{NH}_4^+$  (formule [1]) maar beperkt tegen, omdat de relatie zwak is. Dit betekent dat onder praktische (temperatuur)omstandigheden steeds alle ureum wordt omgezet.

### c. *Tegengaan vervluchtiging*

Gasvormig  $\text{NH}_3$  in de oplossing kan uit de vloeistof treden onder invloed van een verschil in drijvende kracht (concentratie) tussen de vloeistof en de bovenliggende lucht (stallucht). In theorie ligt de vervluchtiging dus stil wanneer de lucht boven de mest/urine niet wordt ververst, zodat de vervluchtiging afhankelijk is van de luchtbeweging (luchtsnelheid). Daarnaast speelt ook de temperatuur een rol, aangezien het een verdampingsproces betreft. Ook is de vervluchtiging afhankelijk van het contactoppervlak tussen de vloeistof en de lucht.

De luchtsnelheid kan effectief worden beïnvloed door een laag stilstaande lucht te creëren. Dit wordt o.a. bereikt door mest te koelen, waardoor er boven de mest een stilstaande laag relatief koude lucht aanwezig is die niet mengt met stallucht. Ook kan een oppervlak worden afgedekt, zoals bij mestsilos, waardoor de omgevingslucht minder goed of niet langs een mestoppervlak kan strijken en de bovenstaande lucht niet wordt ververst. Vervolgens wordt de vervluchtiging vanuit een kelder effectief gereduceerd door het aanbrengen van een dichte of semidichte vloer. Dit heeft tot gevolg dat:

- de luchtbeweging boven met mestoppervlak wordt gereduceerd
- stofoverdracht tussen de vloeistof en de lucht wordt geremd, doordat de  $\text{NH}_3$ -concentratie in de lucht toeneemt
- uitwisseling tussen kelderlucht en stallucht wordt beperkt

Beperkte oppervlakken roostervloer (varkens) en de sleufvloer (rundvee) zijn succesvolle, breed in de praktijk toegepaste voorbeelden van dit principe.

Mestkoelen heeft het effect van een verlaging van de  $\text{NH}_3$ -concentratie in de mest, zodat er minder gasvormig  $\text{NH}_3$  voor verfluchtiging beschikbaar is. Daarnaast ontstaat, door de koudere kelderlucht, een stagnerende luchtlaag boven de mest, waardoor deze minder goed of niet mengt met de stallucht. Het wordt op dit moment als emissiearm systeem toegepast in de varkenshouderij, waarbij grondwater door op de mest aangebrachte lamellen wordt gevoerd.

Vermindering van het contactoppervlak tussen vloeistof en lucht is eveneens een succesvolle manier gebleken om de  $\text{NH}_3$ -emissie uit varkensstallen te verminderen. Daarbij moet onderscheid worden gemaakt tussen de vloer en de mestkelder. Vermindering van het bevuilde vloeroppervlak is goed mogelijk gebleken door een slimme klimatisering, aangezien varkens in principe zindelijke dieren zijn. De dieren mesten en urineren daardoor op een beperkt deel van het beschikbare vloeroppervlak (de roosters), terwijl ze het gedeelte met dichte vloer als ligoppervlak gebruiken. Deze vermindering van het aandeel (open) roostervloer is tevens ook een manier op de vervluchtiging uit de kelder te verminderen (zie hiervoor). Dit is nog verder doorgevoerd door het aanbrengen van schuine kelderwanden, vaak in combinatie met frequente verwijdering van de aanwezige mest.

De controleerbaarheid is groot, omdat op basis van bouwtekeningen/ontwerp en realisatie in de praktijk een niet-fraudeerbaar, solide systeem kan worden gerealiseerd en geverifieerd.

Omdat ook de vervluchtiging uit de mest direct gerelateerd is aan de  $\text{NH}_3$ -concentratie in de mest, is in het verleden veel aandacht besteed aan het verdunnen van mest. Ontwikkelde spoelsystemen hebben echter nooit grootschalig invoering gevonden, vooral vanwege de complexe en dure techniek en de noodzaak om spoelvloeistof (scheiden mest, beluchten etc.) te verkrijgen. Verdunning van urine (op de vloer) en mest (in de kelder) door het spoelen van vloeren met water is uitgebreid onderzocht voor toepassing binnen de rundveehouderij, maar is grotendeels om dezelfde redenen nooit op enige schaal toegepast.

### d. *Voorkomen van transport naar de buitenlucht*

Deze optie is uitsluitend van belang wanneer  $\text{NH}_3$  reeds is gevormd en vervluchtigd naar lucht in een min of meer afgesloten omgeving (stal, opslag). Het volledig afsluiten van een bron is niet mogelijk, hetzij om reden van gewenste luchtverversing (stallen: om het gewenste binnenklimaat te realiseren; opslagen: wettelijk voorgeschreven openingen om explosiegevaar te voorkomen), hetzij omdat technisch gezien altijd openingen in een systeem aanwezig zullen zijn (permeabiliteit van gebouwen, constructies, folies etc.). Toch kan in min of meer afgesloten ruimten de emissie vergaand (70 - >90%) worden beperkt door de uitgaande lucht te behandelen. Voorbeelden zijn: chemische wassers (gebruik van zuur), biologische wassers (water in combinatie met bacteriën op een kunstmatig dragermateriaal) en biofilters (bacteriën op natuurlijk, vochtig dragermateriaal). Ook kan worden gedacht aan katalysatoren, waarmee verontreinigingen in de lucht na verwarming/verhitting (> 300 °C) worden omgezet tot elementaire componenten. Met uitzondering van katalysatoren zijn deze technieken commercieel beschikbaar en worden op enige schaal in de landbouw toegepast. Knelpunten zijn vooral: hoge kosten, neveneffecten (bijv. spuiwater, energieverbruik), robuustheid en onderhoud. Daarnaast is de controle en handhaafbaarheid een aandachtspunt. Het is betrekkelijk eenvoudig om de systemen uit te schakelen, aangezien het een nageschakelde techniek betreft die veelal niet in het stal- of opslagsysteem is geïntegreerd. Tabel 3 geeft een overzicht van de factoren rond stal en opslag die de ammoniakemissie bepalen en de meetbaarheid en het perspectief daarvan.



**Tabel 3** Invloedsfactoren rond voeding en ammoniakemissie

Invloedsfactoren	Effecten	Meetbaarheid	Perspectief
Urease activiteit	Niet	Niet	Beperkt
pH	Groot	Niet	Niet
Temperatuur	Beperkt	Beperkt	Redelijk
Lichtsnelheid	Beperkt	Niet	Redelijk
Oppervlak	Groot	Groot	Groot
NH <sub>3</sub> concentratie	Groot	Niet	Niet

### Methaan

De vorming van methaan uit mest (mengmest en stro-/strooiselmest) verloopt deels hetzelfde als in het dier. Voor het proces in de mest zijn de volgende condities relevant:

- aanwezigheid van een C-bron
- aanwezigheid van bacteriën (methanogene ent)
- afwezigheid van O<sub>2</sub>
- temperatuur > 10 °C
- pH-bereik (4 – 9 ???)
- NH<sub>3</sub>-concentratie (hoge concentraties zijn toxisch voor methanogene bacteriën)

Ervan uitgaande dat in mest voldoende C-bron aanwezig is en zuurstof ontbreekt, zijn de ent (of liever gezegd het ontbreken ervan) en de temperatuur de belangrijkste stuurvariabelen. Aangezien in verse mest relatief weinig methaanvormende bacteriën aanwezig zijn, is frequente en restloze verwijdering van mest een goede mogelijkheid om CH<sub>4</sub>-vorming uit mest te beperken. Diverse stalsystemen voor varkens zijn hiermee reeds uitgerust, vanuit het oogpunt van NH<sub>3</sub>-emissiereductie (beperkte verblijftijd in de stal en verminderd contactoppervlak). Daarbij dient te worden opgemerkt dat de frequentie van mest verwijderen vooral een managementaspect is, terwijl voor 'restloos' in het kader van CH<sub>4</sub> strengere eisen zullen gelden van voor NH<sub>3</sub> (slechts een beetje 'oude' mest kan al leiden tot een snelle en hoge CH<sub>4</sub>-vorming).

Beperking van de temperatuur is reeds een thema in systemen met mestkoeling. Onderzoek heeft reeds aangetoond dat door mestkoeling de emissies van NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub> aanzienlijk (> 50%) worden gereduceerd. Dit zal vooral worden veroorzaakt door het stagneren van een laag relatief koude lucht in de kelder, dus boven de mest, en in mindere mate door het beperken/voorkomen van de afbraak van C (temperatuur is hoger dan 10 °C).

**Tabel 4** Invloedsfactoren rond voeding en ammoniakemissie

Invloedsfactoren	Effect	Meetbaarheid	Perspectief
C-Bron	Groot	n.v.t.	Niet
Ent materiaal	Groot	Niet	Beperkt
Zuurstof	Beperkt	Niet	n.v.t.
Temperatuur	Redelijk	Goed	Groot
pH	Beperkt	Niet	n.v.t.
NH <sub>3</sub> concentratie	Beperkt	Beperkt	n.v.t.

### 3.3 Stuurvariabelen

De analyse van de hoofdprincipes heeft het volgende overzicht opgeleverd:

**Tabel 5** Hoofdprincipes bij de vorming van ammoniak en methaan

	Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	Methaan (CH <sub>4</sub> )
Veevoeding	Ureumconcentratie Temperatuur Voersamenstelling	Afbreekbaarheid van C
Stal en mestopslag	Ureaseactiviteit pH van mest en urine Temperatuur Luchtsnelheid Contactoppervlak Mestsamenstelling Management	Aanwezigheid C-bron pH van mest Temperatuur Entmateriaal Zuurstof Mestsamenstelling

Emissie reducerende principes (technieken) spelen in alle gevallen in op één of meerdere van deze procesvariabelen. De vraag is echter aan de orde of deze procesvariabelen ook kunnen worden gezien als (technische) stuurvariabelen. Een belangrijk aspect daarbij is of er kennis is of kan komen waarin de relatie tussen stuurvariabelen en gasvormige emissies inzichtelijk kan worden gemaakt. Onderstaand is een weging gemaakt van de stuurbaarheid van de verschillende variabelen en de wijze waarop dit gebeurt of kan gebeuren.

#### Ammoniak

##### a. Ureumconcentratie/urinezuurgehalte

Deze variabele is een 'output' van het systeem 'dier' en daarom uitsluitend te sturen door aanpassing van het rantsoen. Nu is 'rantsoen' een breed begrip. De relatie tussen rantsoen en NH<sub>3</sub>-emissie is voor rundvee, varkens en pluimvee diepgaand onderzocht, waarbij de relaties (kwantitatief) tussen de rantsoencomponenten Ruw Eiwit/Onbestendig Eiwit Balans en NH<sub>3</sub>-emissie nauwkeurig zijn beschreven. De stuurbaarheid van het RE-gehalte van met name krachtvoerders is betrekkelijk groot, aangezien deze fabrieksmatig worden geproduceerd. Het RE (OEB)-gehalte van ruwvoerders (gras, maïs, hooi, stro) is lastiger te sturen, aangezien hier een complexe relatie ligt met de teelt, inclusief bemesting. Bemonstering en analyse zijn goed mogelijk. Echter, de gegevens hebben veelal betrekking op de totale voorraad ruwvoer voor het betreffende jaar en is op die tijdsbasis een gegeven. Wel kan via bijmenging van voercomponenten sturing plaatsvinden. Recenter onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat het ureumgehalte van de (tank-)melk goede mogelijkheden geeft voor sturing, evenals voor controle en handhaving. De relatie tussen het ureumgehalte van de melk en de NH<sub>3</sub>-emissie is kwantitatief bekend en kan daarom worden toegepast. Bemonstering en analyse van melkureum wordt regulier door de melkcontrolerende instantie uitgevoerd, tegen acceptabele kosten. Ook zijn er mogelijkheden om online, via sensoren, het ureumgehalte van de melk te meten.

##### b. Temperatuur

Temperatuur speelt een belangrijke rol bij alle brontypen. De stuurbaarheid is in het algemeen laag, vooral wanneer de emitterende omgeving direct in contact staat met de buitenlucht en het heersende weer (natuurlijk geventileerde stallen, weidend vee, mesttoediening). Voor een gerichte sturing op temperatuur is een afgeschermd ruimte noodzakelijk, bijvoorbeeld een mechanisch geventileerde stal. Sturing van temperatuur op emissie is daarbij echter niet aan de orde, omdat de ondernemer zich vooral richt op het handhaven van bepaalde omgevingstemperatuur (comfortzone) voor de dieren. Dit geldt ook voor natuurlijk geventileerde stallen, waarbij een microklimaat voor dieren wordt gerealiseerd (m.n. in de varkenshouderij).

De enige manier op te sturen op temperatuur met het oogmerk van emissiereductie is door de mest en/of de vloer te koelen. Mestkoeling vindt daarbij plaats in de kelder, onder de vloer, waarbij gebruik wordt gemaakt van grondwater. De stuurbaarheid is dus beperkt en is afhankelijk van de grondwatertemperatuur. Het verhindert vooral het opmengen van de koudere (gekoelde) kelderlucht met de warmere stallucht en vermindert daarmee de emissie. De relatie tussen mestkoeling en NH<sub>3</sub>-emissie ligt vast op systeemniveau. Vloerkoeling werkt niet direct in op de processen, maar zorgt er vooral voor dat de dieren (m.n. varkens) een beter onderscheid kunnen maken tussen het mest- en het liggedeelte, waardoor het bevuilde en dus emitterende oppervlak wordt beperkt. Ook hier is een systeemgebonden relatie gevonden, die echter omgeven is door variatie als gevolg van andere invloedsfactoren (management, hokinrichting, voer etc.).

De invloed van temperatuur op de  $\text{NH}_3$ -emissie bij mesttoediening is uitvoerig onderzocht en evident. Vanwege het uitrijverbod wordt veel meer mest dan vroeger uitgereden in perioden van het jaar met een hogere temperatuur. De huidige nationale rekenmethodieken houden hiermee overigens geen rekening. De mate van sturing op temperatuur is gering, hoewel mesttoediening op koudere dagen een emissiereductie zal geven.

*c. Ureaseactiviteit*

Het voorkomen van de afbraak van ureum is een zeer effectieve manier om de  $\text{NH}_3$ -emissie te voorkomen. Met name de afbraak van ureum, via de ureaseactiviteit van mest en bevulde oppervlakken (bijv. stalvloer), is echter in de praktijk niet of nauwelijks te sturen. In het verleden zijn hiermee voldoende experimenten uitgevoerd, tot en met de haalbaarheid van ureaseremmers. De problemen zijn vooral van procesmatige (snel ingrijpen, want ureum reageert snel), praktische (er is een spoelsysteem nodig) en economische (hoge kosten) aard.

*d. Samenstelling mest en urine*

Deze 'variabele' omvat een aantal componenten, waarvan zuurgraad (pH) en  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ -gehalte de belangrijkste zijn. Sturing (verlaging) van de pH is in principe mogelijk door middel van:

- het bijmengen van zuur (organisch, anorganisch) aan de mest (in de stal, tijdens de opslag en direct voor mesttoediening)
- het bijmengen van zuurvormende micro-organismen aan de mest (bijv. melkzuurvormende bacteriën)
- het bijmengen van verzurende producten aan het veevoer (bijv. benzoëzuur)

Het aanzuren van mest is in de jaren '90 van de vorige eeuw uitvoerig onderzocht, waarbij vooral gebruik werd gemaakt van salpeterzuur. De belangrijkste redenen om deze oplossing niet in de praktijk toe te staan waren: (1) onvoldoende waarborgen voor controle en handhaving; (2) vermeende neveneffecten, zoals toename van de geuruitstoot en extra stikstofrijke mest en (3) kosten (vergaand aanzuren is nodig om denitrificatie en lachgasproductie te voorkomen). De optie van het gebruik van zuurvormende bacteriën is door nagenoeg dezelfde redenen nooit goed van de grond gekomen. Daarnaast wordt langs deze wegen uitsluitend de kelderemissie gereduceerd en blijft de vloeremissie in tact. Een meer integrale oplossing ligt in het bijmengen van verzurende producten aan het veevoer. Deze hebben tot gevolg dat de pH van de urine wordt verlaagd, waardoor de vloeremissie en de kelderemissie (beïnvloedt ook de mest-pH) wordt gereduceerd. Het meest perspectiefvol is benzoëzuur, maar er zijn ook alternatieven. Omdat de bijmenging op fabrieksniveau plaatsvindt, is controle en handhaving beter te regelen dan bij het mengen op bedrijfsniveau. Het aanzuren van mest is in de gehele mestketen (stal, opslag, toediening) onderzocht en effectief gebleken. Met het bijmengen van verzurende producten aan het voer is tot nu toe uitsluitend op stalniveau (varkens) onderzoek uitgevoerd. Nadere aandacht voor de effecten in bedrijfsverband strekt tot aanbeveling.

Het ammonium/ammoniakgehalte (hier aangeduid met TAN = Totaal Ammoniak Stikstof) van mengmest is een zeer belangrijke parameter in het licht van de  $\text{NH}_3$ -emissie. Ze is direct gekoppeld aan de samenstelling van de geproduceerde urine (ureumgehalte) en feces (organisch stikstofgehalte), en dus aan het rantsoen, voermanagement en bemesting. Vanwege de relatie tussen gehalte (concentratie) en emissie, dient sturing vooral plaats te vinden op de concentratie en niet zozeer op de uitscheiding. Immers, een verminderde uitscheiding van stikstof in combinatie met een geringer volume aan geproduceerd urine kan alsnog een verhoging van de concentratie opleveren.

Sturing op TAN is lastig, omdat het TAN-gehalte afhangt van vele factoren. Naast het rantsoen is ook het watermanagement (drinkwater, schoonmaakwater) op bedrijfsniveau van belang. Binnen praktijkinitiatieven zoals VEL&VANLA en Koeien en Kansen wordt gestreefd naar een scherp nutriëntenmanagement. Dit kan resulteren in een verlaging van het TAN-gehalte van de mengmest en dus in een vermindering van de  $\text{NH}_3$ -emissie op bedrijfsniveau (de relatie tussen ureumgehalte, TAN-gehalte en  $\text{NH}_3$ -emissie is lineair). Om te kunnen sturen is een systeem van mestbemonstering en -analyse noodzakelijk. Ook dient de mogelijkheid van (forfaitaire) N-stromenmodellen te koppelen met proceskennis (procesmodellen), zodat een beslissingsondersteunend managementsysteem beschikbaar komt waarmee de boer inzicht krijgt in bedrijfsemissies. Aansluitend dient de vraag te worden beantwoord over de wijze van controle en handhaving, waarbij aangemerkt wordt dat de  $\text{NH}_3$ -problematiek in relatie tot mestsamenstelling nauw samenhangt met de totale N-stromen op bedrijfsniveau.

*e. Luchtsnelheid*

Omdat de  $\text{NH}_3$ -emissie een verdampingsproces is, is er een relatie met luchtsnelheid. Deze relatie is theoretisch goed bekend en beschreven, o.a. in procesmodellen voor stallen en mesttoediening. De sturingsmogelijkheden zijn echter in algemene zin beperkt. Op stalniveau is sturing van de luchtsnelheid over de emitterende oppervlakken uit het oogpunt van emissiebeheersing niet of nauwelijks relevant. Sturing door aanpassing van de ventilatie wordt toegepast, maar dan vooral vanuit het oogpunt van stalklimaat en afvoer van bijv. vocht en beheersing van de temperatuur. Bij mestopslag buiten de stal is de luchtsnelheid direct beïnvloed (verlaagd) door het aanbrengen van afdekkingen. In stallen wordt ervoor gezorgd dat er geen putventilatie optreedt zodat de luchtbeweging over het mestoppervlak minimaal is.

#### f. Contactoppervlak

Contactoppervlak speelt bij alle brontypen en processen een rol. Bij ureumomzetting dient een zo gering mogelijk contact te zijn tussen ureum en bevuild oppervlak (urease); beperking van met urine benatte oppervlakken en mestoppervlakken leveren direct een emissiereductie op (verdampingsproces), zowel in stallen, mestopslagen en mesttoediening.

Sturing van het contactoppervlak is heel goed mogelijk, waarbij gestreefd moet worden naar een zo gering mogelijk oppervlak aan vloer, kelder, opslag en toegediende mest. Bij mesttoediening is dat in beginsel eenvoudig mogelijk gebleken, bijv. door de mest in strookjes op de grond (sleepslangen, sleepvoeten) of in de grond (zodenbemesting) te plaatsen. Voor mestopslagen is dit nauwelijks relevant, omdat de regelgeving/richtlijnen de geometrie, en dus het emitterende oppervlak, voorschrijft. Tevens maakt het verplicht afdekken van opslagen buiten de stal een oppervlaktereductie nauwelijks relevant en effectief.

In stallen is het wellicht de meest voor de hand liggende maatregel, zij het dat ook andere aspecten dan NH<sub>3</sub>-emissie (dierenwelzijn, stalinrichting en -geometrie) dienen te worden meegenomen. Deze invalshoeken zijn het meest relevant voor de stalvloer en nauwelijks voor de mestopslag onder de vloer. Relevante voorbeelden zijn:

- beperking van het natte vloeroppervlak in de varkenshouderij door een slim hokontwerp en een optimale klimatisering
- verminderd kelderoppervlak in varkensstallen door beperking van de mestopslag in de stal, het aanbrengen van schuine kelderwanden enz.

Binnen de rundveehouderij liggen de emitterende contactoppervlakken min of meer vast. Daarnaast is er voor de varkens- en pluimveehouderij sprake van ontwikkelingen die een groter oppervlak per dier voor ogen hebben c.q. voorschrijven. Dit heeft tot gevolg dat de geproduceerde mest ook over een groter oppervlak wordt verspreid. De uitdaging is om bij dergelijke systemen te komen tot een beperking van de emissietoename c.q. tot een verdere emissiereductie, door gebruik te maken van andere reductieprincipes.

### Methaan

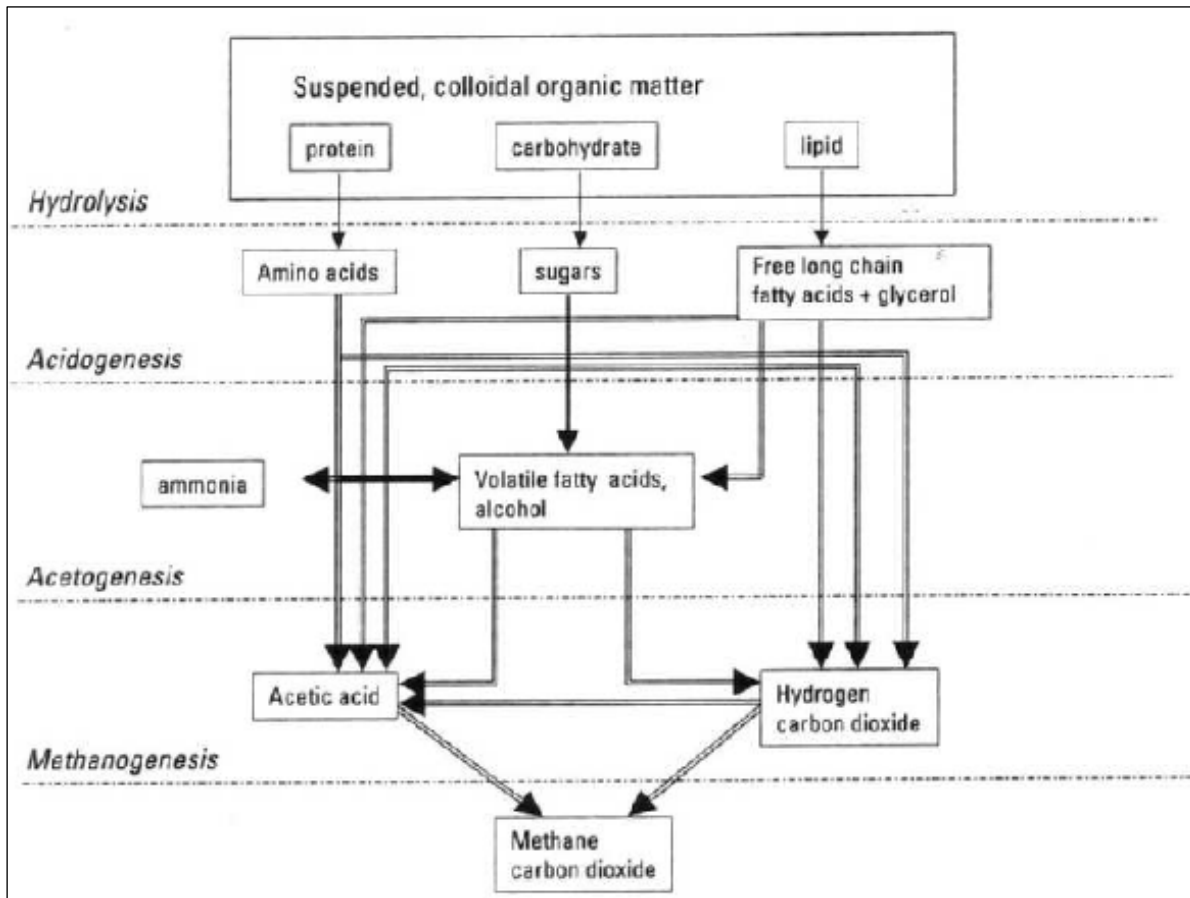
De twee belangrijkste bronnen van methaan in de melkveehouderij zijn pensfermentatie en mest.

De productie van methaan uit de pens wordt beïnvloed door eigenschappen van het voer en condities in de pens. Voergerelateerde factoren zijn voeropname en pensvulling, het aandeel krachtvoer in het rantsoen en de afbreekbaarheid van de verschillende rantsoencomponenten. Onder de pensfactoren vallen de zuurgraad van de pensvloeistof, de aanwezigheid van langketenige vluchtige vetzuren en de samenstelling van de populatie micro-organismen in de pens. Een uitgebreider overzicht van invloedsfactoren is te vinden in Tamminga *et al.* (2007). Bij de afbraak van organische stof in mest en de vorming van methaan spelen een aantal factoren een rol die het proces of een deel daarvan kunnen beïnvloeden. Het proces is weergegeven in Figuur 2. De factoren zijn:

#### a. Temperatuur

Vergisting kan in verschillende temperatuurtrajecten plaatsvinden met bij elk traject een groep, aan deze temperatuur aangepaste, bacteriën. Over het algemeen worden drie soorten temperatuurtrajecten onderscheiden. Bij *psychrofiële vergisting* (< 20°C), ook wel koude vergisting genoemd, wordt het te vergisten mengsel niet verwarmd. Het is dus vergisting bij omgevingstemperatuur. Onder Nederlandse omstandigheden betekent dit dat de verblijftijd van het te vergisten mengsel lang moet zijn om een redelijke biogasopbrengst te bereiken. Het volume van de vergister neemt daardoor sterk toe. Deze manier van vergisten is onder Nederlandse omstandigheden daarom niet interessant. *Mesofiele vergisting* vindt plaats bij temperaturen tussen 20 en 40 °C. Het te vergisten mengsel wordt op temperatuur gebracht met warm water. Dit water is over het algemeen afkomstig van de warmte geproduceerd door de gasmotor waarin het biogas verbrand wordt. Bij *thermofiele vergisting* ligt de temperatuur tussen de 50 en 60 °C. Ook hier wordt deze temperatuur bereikt door het te vergisten materiaal op te warmen met koelwater van de gasmotor. Het voordeel van thermofiele vergisting ligt in de kortere verblijftijden en daardoor de kleinere en goedkopere installaties en het grotere effect van doding van pathogenen. Aan de andere kant is het mesofiele vergistingsproces stabielere waardoor de kans op verstoring minder is. Dit is vooral van belang als de te vergiste stromen (mest en overige biomassa) wisselends qua hoeveelheid of samenstelling zijn. Veranderingen in temperatuur hoeven niet direct te leiden tot verstoring van het proces. Binnen bepaalde marges kan de bacteriepopulatie zich aanpassen aan veranderende omstandigheden mits deze niet plotseling plaatsvinden.

**Figuur 2** Overzicht van processtappen in de afbraak van organische stof en de vorming van methaan uit mest (bron: Sanders, 2001)



*b. Zuurgraad (pH)*

Vooral de methaanvormende bacteriën hebben een kritisch optimaal gebied dat tussen pH 6,5 en 7,5 ligt. Daarbuiten wordt de methaanvorming geremd. Het is dus van belang dat de snelheid van de methaanvorming nauw afgestemd is op de snelheid van de zuurvorming of dat het gevormde zuur gebufferd kan worden om verandering van de pH, en daardoor remming van de methaanvorming, te voorkomen.

*c. Verbliftijd*

De totale methaanemissie uit stallen en mestopslagen neemt toe naarmate de opslagduur langer is. Verkorting van de opslagduur draagt bij aan emissievermindering. Wanneer mestvergisting wordt toegepast moet de verblijftijd van het substraat (mest en co-producten) voldoende lang zijn om de methaanvorming op gang te brengen en te houden. De verblijftijd van de organische stof moet daarom minimaal 15 dagen zijn (Reith *et al.*, 2003). Verbliftijd, volume van de vergister en aanbod van te vergisten materiaal zijn de drie grootheden die bij het ontwerp van een vergistinginstallatie goed op elkaar moeten worden afgestemd.

*d. Afbreekbaarheid organische stof*

De vorming en emissie van methaan is afhankelijk van de afbreekbaarheid van de organische stof. Organische stof is een overkoepelende term voor het koolstofbevattende deel van de droge stof. Binnen dat deel wordt dan ook weer verder onderscheidt gemaakt. De afbreekbaarheid van de organische stof door microbiële activiteit kan echter sterk verschillen en daarmee de gasopbrengst per eenheid ingebracht materiaal. Bepaling van het chemisch of biologisch zuurstofverbruik (CZV, BZV) geven indicaties voor de afbreekbaarheid van de aanwezige organische stof en daarmee van de potentiële gasopbrengst van het te vergisten materiaal. De organische stof in mest is relatief goed afbreekbaar. Een betere benutting door het dier betekent dat er minder goed afbreekbare organische stof in de mest aanwezig is.

## 4 Reductieopties

In dit hoofdstuk worden de verschillende opties voor het reduceren van ammoniak- en/of methaanemissie op een rij gezet. Dit gebeurt door de opties te beschrijven in een tabel waarin vaste onderdelen aan bod komen. Daaronder het gemeten of te verwachten reductiepotentieel. Dit is veelal weergegeven ten opzicht van een 'standaard' stal. Deze standaardstal is niet altijd gelijk maar in de meeste gevallen een ligboxenstal met roostervloer en mestopslag onder de roosters. Wanneer het om een ander staltype of vloeruitvoering gaat wordt dat aangegeven. In hoofdstuk 1 is een samenvattende tabel opgenomen.

### 4.1 Ammoniak

#### Huisvestingssystemen

<b>Ligboxenstal</b>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>In de ligboxenstal is het liggedeelte voor de koeien gescheiden van het loopgedeelte. De ligboxen zijn uitgevoerd als diepstrooiselboxen of voorzien van boxbedekking. De loopvloer is van beton, meestal in de vorm van een roostervloer.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Verschillende stallen zijn gemeten. In de RAV-lijst is uiteindelijk een emissiefactor opgenomen van 9,5 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar bij beweiding en 11,0 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar in geval van permanent opstallen.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>De ligboxenstal is het meest gebruikte huisvestingssysteem voor melkvee. Wel hebben zich in de loop der jaren verschillende ontwikkelingen voorgedaan. Afmetingen van ligboxen en looppaden zijn verruimd. De ventilatieopeningen zijn vergroot en er is meer aandacht gekomen voor klimaatbeheersing, lichttoetreding en uitvoering van ligboxen.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>De ligboxenstal met roostervloeren en mestopslag wordt gezien als de referentie bij de ontwikkeling van emissiereducerende maatregelen. Er is daarom dus geen sprake van een kosteneffectiviteit</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Nadelige effecten van dit huisvestingssysteem (en andere die uitgaan van een betonnen loopoppervlak) liggen op het gebied van klauwgezondheid en beloopbaarheid van de vloeren.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>n.v.t.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>In Monteny <i>et al.</i> (2001) wordt een overzicht gegeven van de metingen die gedaan zijn aan ligboxenstallen en het effect van verschillende factoren op ammoniakemissie.</p>

<b>Potstal</b>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Bij de potstal is het lig- en loopgedeelte gecombineerd. Een potstal bestaat uit een groot ingestrooid lig- en loopgedeelte en een vreetgedeelte dat meestal voorzien is van een roostervloer met mestopslag maar kan ook uitgevoerd worden met andere vloersystemen die gebruikelijk zijn in ligboxenstallen. Het aantal m<sup>2</sup>-ers per dier is groter dan in een ligboxenstal. Als strooiselmateriaal wordt meestal stro gebruikt.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Metingen zijn uitgevoerd door Groenestein en Reitsma (1993) aan een mechanisch geventileerde potstal. Zij maten een ammoniakemissie van 6,8 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per 190 dagen. Ten opzichte van de toen geldende emissiefactor voor een ligboxenstal van 8,8 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per 190 dagen is dat een reductie van 25%. Door Mosquera <i>et al.</i>, (2005) is echter een veel hogere ammoniakemissie gemeten. De gemiddelde ammoniakemissie bedroeg 13,9 kg NH<sub>3</sub> per dier per jaar. Dat is 46% hoger dan de emissiefactor voor overige stalsystemen van 9,5 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar bij beweiding.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Het huisvestingssysteem is in principe toepasbaar maar wordt weinig gebouwd. Alleen in de biologische sector en voor het huisvesten van zoogkoeien of vleesvee wordt de potstal redelijk frequent toegepast.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Hoewel de potstal een door het ontbreken van ligboxen en roostervloeren eenvoudiger uitgevoerd wordt dan een ligboxenstal zijn de bouwkosten door het grotere oppervlak per dier niet veel lager dan die van een ligboxenstal. Omdat de emissiereductie beperkt of onzeker is lijkt de kosteneffectiviteit laag.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Het stroverbruik in een potstal ligt op ongeveer 10 kg per dier per dag. Deze kosten maken de potstal minder aantrekkelijk. Daarbij komt dat het inbrengen van het stro een aanzienlijke arbeidsbehoefte vraagt. Daar staat tegenover dat de klauwgezondheid van koeien in een potstal over het verbeterd (Somers <i>et al.</i>, 2005).</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>De omstandigheden in de potstal kunnen erg variëren en ook het management van de potstal (strooiselverbruik en instrooifrequentie) zijn variabel. Daardoor kunnen grote verschillen optreden in ammoniakemissie tussen verschillende potstallen en is de gevoeligheid groot.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>De Haan en Ogink, 1994; Groenestein en Reitsma, 1993; Mosquera <i>et al.</i>, 2005; Smits, 2007</p>

<b>Grupstal</b>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>In een grupstal zijn de koeien aangebonden. Lig- en vreetplek zijn gecombineerd. Een loopgedeelte ontbreekt. Achter de stand bevindt zich een mestgoot (de grup) waarin de gier, of de mest en gier opgevangen wordt. Traditioneel wordt in een grupstal gier en strotijke stalrest geproduceerd maar er bestaan ook grupstallen waarin drijfmest wordt geproduceerd.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Omgerekend naar een stalperiode van 190 dagen maten Groenestein en Montsma (1991) een ammoniakemissie van 2,0 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats. Ten opzichte van de toen geldende emissiefactor voor een ligboxenstal van 8,8 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per 190 dagen is dat een reductie van 75%. Zij weten deze reductie aan een combinatie van een kleiner bevuild oppervlak, een lager productieniveau, een lager ventilatieniveau en een hogere staltemperatuur. De grupstal is opgenomen in de RAV-lijst en heeft daar een emissiefactor van 4,3 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar. Daarbij wordt een oppervlakte beperking van 1,2 m<sup>2</sup> voorgeschreven.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Het huisvestingssysteem is in principe toepasbaar maar wordt nauwelijks meer gebouwd.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Door lagere oppervlakten per dier en het eventueel ontbreken van een melkstal zijn de bouwkosten van een grupstal ten opzichte van een ligboxenstal voor hetzelfde aantal dieren waarschijnlijk veel lager. Gecombineerd met de grote emissiereductie is de kosteneffectiviteit groot.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>De beperkte bewegingsvrijheid wordt over het algemeen als een sterke beperking van het dierenwelzijn gezien. Verder is bij het toepassen van een melkleidingsysteem de arbeidsbelasting tijdens het melken hoog. Toepassing van een melkstal is mogelijk door gebruik te maken van vangsystemen bij de standen maar betekent een vergroting van het bevuilde oppervlak.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Het afbreukrisico is laag.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>De Haan en Ogink, 1994; Groenestein en Montsma, 1991</p>



<b>Vermindering bevuild oppervlak</b>
<p><b>Beschrijving</b> Er is een lineaire relatie tussen het bevuilde oppervlak en de ammoniakemissie (Aarnink <i>et al.</i>, 2007; Monteny, 2000). Vermindering van het bevuilde oppervlak leidt dus direct tot minder ammoniakemissie.</p>
<p><b>Meetresultaten</b> Metz <i>et al.</i>, (1995) vonden een ammoniakemissiereductie van 10% wanneer het bevuilde oppervlak per dier verminderde van 3,5 tot 2,5 m<sup>2</sup>.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b> Het bevuilde oppervlak is sterk verbonden met de stalindeling. Vermindering van het bevuilde oppervlak in bestaande stallen is dan ook vrijwel niet mogelijk. In nieuwe stallen is door ontwerp het bevuilde oppervlak echter te beperken.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b> Omdat minder bevuild oppervlak in het algemeen ook leidt tot een kleiner totaal oppervlak per dier zullen de bouwkosten afnemen. Er is dus sprake van zowel minder kosten als minder emissie.</p>
<p><b>Trade offs</b> In het algemeen leidt vermindering van het bevuilde oppervlak ook tot een kleiner totaal oppervlak per dier. Meestal door versmallen van de loopgangen. Dit heeft een negatief effect op dierenwelzijn doordat de mogelijkheden voor uitwijken voor of ontvluchten van ranghogere soortgenoten beperkt worden.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b> Het afbreukrisico op gebied van ammoniakemissie is klein. Op gebied van dierenwelzijn is er echter een grote kans dat te grote beperking van het bevuild oppervlak leidt tot problemen.</p>
<p><b>Bronnen</b> Aarnink <i>et al.</i>, 2007; Metz <i>et al.</i>, 1995; Monteny, 2000</p>

## Ventilatie

<p><b>Beperking luchthoeveelheid en luchtsnelheid</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>In tegenstelling tot mechanische geventileerde stallen wordt het ventilatieniveau niet geregeld maar is afhankelijk van de weersomstandigheden (met namen windsnelheid en –richting). Ventilatieniveau ligt vaak hoger dan vanuit het gezichtspunt van dierenwelzijn en – gezondheid (afvoer van warmte, vocht en schadelijke gassen) noodzakelijk is. Door op die momenten de ventilatie te beperken kan de emissie van ammoniak verminderd worden. Beperking van ventilatieniveau kan door het regelen van gordijnen of doeken in de zijwanden van melkveestallen.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Uit metingen van Smits en Huis in 't Veld (2006) op Koeien en Kansen bedrijven blijkt dat de variatie in ammoniakemissie tussen de bedrijven voor een aanzienlijk deel (<math>R^2 = 65\%</math>) verklaard kan worden door het ventilatieniveau (uitgedrukt in <math>m^3</math> per koe). Wanneer er meer geventileerd wordt is de ammoniakemissie hoger. Verklaring ligt in een hogere luchtsnelheid over emitterende oppervlakten en een hogere kelderemissie. Uit cijfers is af te leiden dat de emissie grofweg afneemt met een derde wanneer het ventilatieniveau daalt van 2000 naar <math>1000 m^3</math> per uur per koe. Het verband tussen ventilatieniveau en emissie is niet lineair.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Regeling van de ventilatiehoeveelheid kan door sturing van de gordijnen of doek voor de ventilatieopeningen afhankelijk van de windsnelheid en –richting en andere weersomstandigheden. Dit systeem is toepasbaar op bestaande en nieuw te bouwen stallen.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>De kosten voor de sturing zullen beperkt zijn. De emissiereductie is echter niet bij voorbaat vast te stellen omdat deze afhangt van de weersomstandigheden.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Wanneer de behoefte van mens en dier aan frisse en schone lucht leidend blijft voor het ventilatieniveau zijn geen negatieve bijeffecten van deze maatregel te verwachten.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>De uiteindelijke emissiereductie hangt af van de heersende weersomstandigheden en effectiviteit van het regelsysteem en is daardoor variabele. Het afbreukrisico is daardoor redelijk groot.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Smits en Huis in 't Veld, 2006</p>

<p><b>Splitsing ventilatie</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Bij natuurlijk geventileerde stallen is het ventilatieniveau vergeleken met mechanisch geventileerde stallen hoog. Mede daardoor is de ammoniakconcentratie in de uitgaande luchtstroom laag. De emissie vindt verder niet plaats op duidelijk gedefinieerde punten (bijvoorbeeld ventilatiekokers) maar is afhankelijk van windrichting- en snelheid en uitvoering van de stal. Zuivering van de lucht met chemische luchtwassers is daardoor niet zondermeer mogelijk. Door een gerichte behandeling van de kelderlucht (afzuiging van een beperkt volume met een hoge concentratie ammoniak) kan de ammoniakemissie wellicht met een veel kleinere wasser gericht worden ingevangen. Dit kan zowel door aanpassing in bestaande stallen als bij nieuwbouw een aantrekkelijke (kosteneffectieve) maatregel zijn.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Er zijn geen metingen verricht aan deze reductieoptie. Op basis van 250 m<sup>3</sup>/h luchtafzuiging per dierplaats, 90% verwijderingrendement door de luchtwasser en een gemiddelde ammoniakconcentratie van 1,4 mg/m<sup>3</sup>, zou een emissiereductie van 2,8 kg ammoniak per dierplaats per jaar mogelijk moeten zijn. Dat is bij permanent opstallen een reductie van ongeveer 25% ten opzichte van een ligboxenstal met roosters.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>De reductieoptie lijkt toepasbaar in zowel bestaande als nieuwe</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Kosten effectiviteit hangt af van kosten van de installatie en de bereikte emissiereductie.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Invoering van deze reductieopties heeft naar verwachting een positief effect op binnenklimaat. Naast ammoniak kan ook fijnstof- en geuremissie beperkt worden. Het systeem leidt wel tot een hoger energieverbruik door inzet van mechanische ventilatie en een luchtwasser.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Effectiviteit van het systeem is sterk afhankelijk van de hoeveelheid 'ingevangen' ammoniak.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Smits <i>et al.</i>, 2005; Van Dooren, 2007</p>

<p><b>Mechanische ventilatie i.c.m. luchtwassers</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Door melkveestallen mechanische te ventileren is het mogelijk de uitgaande ventilatielucht te concentreren en te behandelen met een luchtwasser. Tevens biedt het de mogelijkheid het ventilatieniveau nauwkeurig te sturen. De stal wordt daarvoor net als bijvoorbeeld stallen voor pluimvee voorzien van mechanische afzuiging.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Er bestaan een aantal mechanisch geventileerde stallen voor melkvee en in de varkens- en pluimveehouderij is de toepassing van een chemische luchtwasser vrij algemeen. Er bestaan echter geen meetgegevens van de combinatie hiervan (mechanisch geventileerde melkveestal met luchtwasser). De effectiviteit van een luchtwasser hangt echter niet af van de diersoort zodat de emissiereducties die gemeten zijn bij andere diersoorten van toepassing zijn voor melkveestallen. Met een chemische wasser kunnen ammoniakverwijderingsrendementen worden bereikt van meer dan 95% (Melse en Willers, 2004).</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Deze optie is slechts met zeer hoge kosten toe te passen op bestaande stallen en zal vooral bij nieuw te bouwen stallen een serieuze optie zijn.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Exploitatiekosten van een chemische luchtwasser liggen rond €7,- per kg verwijderde NH<sub>3</sub> (Melse en Willers, 2004). Hierin zijn niet de kosten van het mechanisch ventileren opgenomen. Deze zullen aanzienlijk zijn vergeleken met het huidige systeem.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Het aanzien van melkveestallen zal door het toepassen van mechanische ventilatie drastisch veranderen en gaan lijken op de stallen voor varkens en pluimvee. Dit is uit oogpunt van beeldvorming en imago een ongewenste ontwikkeling. Luchtwassers reduceren niet alleen ammoniakemissie maar ook geur en stof. Het energieverbruik zal echter behoorlijk stijgen ten opzichte van huidige situatie zowel door mechanische ventilatie als door chemische wasser. Verder moet een oplossing voor het spuiwater gevonden worden.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Mechanische ventilatie en chemische wassers hebben een hoge betrouwbaarheid. Afbreukrisico t.a.v. reductie ammoniakemissie is laag. De controle op de werking en handhaafbaarheid is een aandachtspunt.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Melse en Willers, 2004</p>

## Voeding

<p><b>Verlaging van ureumgehalte urine</b></p>
<p><b>Beschrijving</b>          Voedingsmaatregelen kunnen een bijdrage leveren aan de stikstofverliezen die optreden in de pens. Door een verlaging van de Onbestendige Eiwitbalans (OEB) is het mogelijk het ureumgehalte in de urine te verlagen en daarmee de bron voor de ammoniakemissie gedeeltelijk weg te nemen.</p>
<p><b>Meetresultaten</b>          Duinkerken <i>et al.</i> (2003) hebben een relatie vastgesteld tussen de ammoniakemissie en OEB. De ammoniakemissie vanuit de melkveestal bleek toe te nemen naarmate de OEB hoger was. Het ureumgehalte in tankmelk en de temperatuur bleken sterk gecorreleerd met de ammoniakemissie vanuit de stal. Het percentage verklaarde variantie bedraagt 76% (<math>r^2=0,76</math>). Conclusie is dat de ammoniakemissie via voermaatregelen sterk te beïnvloeden is. Met name door verlaging van de OEB van het rantsoen is een forse emissiereductie haalbaar. Het ureumgehalte in tankmelk is een goede graadmeter voor emissiereductie. Een landelijk gemiddelde reductie van de ammoniakemissie vanuit de melkveestal van 20 tot 25% ten opzichte van 1998 lijkt haalbaar via voedingsmaatregelen.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b>          Er zijn verschillende mogelijkheden om met voeding en management het ureumgehalte in de melk te verlagen, zoals verlaging van het OEB, normvoeding voor DVE, voldoende energievoorziening, beperking stikstofbemesting op grasland, beperking van beweiding en het oogsten van het gras in een lager groeistadium.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b>          De kosteneffectiviteit is hoog aangezien de reductie van de het melkureum gehalte en daarmee de ammoniakemissie niet gepaard hoeft te gaan met extra kosten of mindere opbrengsten.</p>
<p><b>Trade offs</b>          Voeding kan ook effect hebben op de methaanuitstoot en op de geuremissie en -beleving en ook andere managementmaatregelen ter voorkoming van de ammoniakemissie kunnen invloed hebben op overige milieuaspecten. Mate van beweiding beïnvloedt bijvoorbeeld de lachgasemissie en de uitspoeling van nitraat (Duinkerken <i>et al.</i>, 2003).</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b>          Het ureumgehalte van de tankmelk kan gebruikt worden om als controle-instrument.</p>
<p><b>Bronnen</b>          Duinkerken <i>et al.</i>, 2003</p>

<p><b>Verlaging van zuurgraad urine</b></p>
<p><b>Beschrijving</b>                  Door verlaging van de pH van de urine wordt de ureaseactiviteit verlaagd en daarmee de omzetting van ureum in ammoniak. Daarnaast is er ook een direct effect van de pH verlaging omdat de emissiesnelheid afhangt van de hoeveelheid opgeloste ammoniak.</p>
<p><b>Meetresultaten</b>                  In de varkenshouderij zijn verschillende onderzoeken bekend naar het effect van zuurgraad verlaging van de urine en effect op ammoniakemissie. Aarnink en Verstegen (2007) geven een overzicht en rapporteren emissiereductie percentages van 35-60%. Ook bij rundvee is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om de zuurgraad van de urine te verlagen maar er zijn geen resultaten gevonden van metingen aan ammoniakemissie. Een te gebruiken zuur is benzoë zuur (benzoic acid). Hansen <i>et al.</i> (2007) vonden een emissiereductie voor ammoniak van 57%.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b>                  Voedingsmaatregelen zijn breed toepasbaar en onafhankelijk van huisvestingsysteem.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit:</b>                  Er zijn nog geen gegevens bekend over de kosteneffectiviteit. Kosten effectiviteit lijkt hoog maar hangt af van kosten voor voersupplementen.</p>
<p><b>Trade offs</b>                  Voedingsmaatregelen kunnen ook ingezet worden voor de verlaging van de pH van de mest of de verlaging van het ureumgehalte in urine of voor het verminderen van de geuremissie.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b>                  Weinig afbreukrisico te verwachten. Controle en handhaafbaarheid behoeven nog verdere aandacht.</p>
<p><b>Bronnen</b>                  Aarnink en Verstegen, 2007; Cahn <i>et al.</i>, 1998; Hansen <i>et al.</i> (2007)</p>

## Vloeruitvoeringen

<b>Roosterschuif</b>
<p><b>Beschrijving</b> De roostervloer wordt frequent schoon geschoven door een schuif. De mest wordt hierdoor beter verwijderd van het roosteroppervlak. Hierdoor blijft minder mest op de vloer achter en kan de urine sneller wegstromen naar de kelder. Aan de andere kant wordt de mest in een dunne laag uitgesmeerd over een groter oppervlak.</p>
<p><b>Meetresultaten</b> Dit systeem is niet opgenomen in de RAV lijst. Emissiemetingen zijn gerapporteerd door Bleijenberg (1994a). Ten opzicht van niet geschoven roosters is geen emissiereductie gemeten.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b> Een roosterschuif is zowel in bestaande als nieuwe stallen goed toe te passen.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit:</b> Kosten voor een roosterschuif hangen af van de stalindeling (aantal mestgangen) en de stalafmetingen (lengte). Omdat nauwelijks emissievermindering gemeten is blijft de kosteneffectiviteit laag.</p>
<p><b>Trade offs</b> Door het toepassen van roosterschuiven blijven de klauwen schoon en droog. Het schuiven van de roosters komt de hygiëne van de koeien en de klauwgezondheid ten goede.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b> Schuiffrequentie is bepalend voor effectiviteit van de maatregel</p>
<p><b>Bronnen</b> De Haan en Ogink, 1994</p>

<p><b>Roostervloer met hellende schijnvloer</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Onder de roostervloer is een dichte schijnvloer met een helling aangebracht. Beide worden met een schuif gereinigd. Door het aanbrengen van de schijnvloer wordt de onderliggende kelder afgesloten. Voordeel van een schijnvloer is verder dat geen concessies gedaan hoeven te worden ten aanzien van de beloopbaarheid van de loopvloer. Het vloeroppervlak van de schijnvloer kan glad gemaakt kan worden voor een snellere afvoer van de urine en de helling kan meer zijn dan bij een vloer met helling waarop dieren moeten lopen mogelijk is (tot 6% helling). Nadeel is dat door het aanbrengen van de schijnvloer het bevulde oppervlak meer dan verdubbeld wordt.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Dit systeem is niet opgenomen in de RAV lijst. Emissiemetingen zijn gerapporteerd door Bleijenberg (1994a) en Donker (1990b). De gemeten emissiereductie varieerde van 24% (Bleijenberg, 1994a) tot 47% (Donker, 1990). De schijnvloer in het onderzoek van Donker was afgewerkt met een epoxytroffel en had een helling van 6%, de vloer in het onderzoek van Bleijenberg was gemaakt van betontriplek en had een helling van 3%.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Inpassing in bestaande stallen is alleen tegen hoge kosten mogelijk. Bij stallen met mestopslag onder de roosters gaat het aanbrengen van een schijnvloer ten koste van de opslagcapaciteit. Kosten worden verder opgedreven doordat twee vloeren aangebracht moeten worden.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Er zijn geen cijfers beschikbaar. Inschatting is dat de kosten bij bestaande stallen aanzienlijk zullen zijn. Ook bij nieuwbouw werkt de schijnvloer kostenverhogend doordat in feite twee vloeren aangebracht worden en er opslagcapaciteit verloren gaat. De kosteneffectiviteit is naar verwachting klein.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Extra materiaal voor schijnvloer en energieverbruik door schuiven van roostervloer en schijnvloer.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Schuiffrequentie is bepalend voor de effectiviteit van de emissiereductie.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>De Haan en Ogink, 1994</p>



<b>Dichte vlakke vloer met schuif</b>	
<b>Beschrijving</b>	In plaats van een roostervloer wordt een dichte vlakke vloer toegepast. De emissie uit de onderliggende kelder wordt hiermee voorkomen. Het bevuilde oppervlak wordt echter vergroot vergeleken met een roostervloer en de urine wordt niet afgevoerd zoals bij de dichte hellende vloer. Dit systeem is niet opgenomen in de RAV-lijst.
<b>Meetresultaten</b>	Het systeem is niet opgenomen in de RAV-lijst. Ten opzicht van de roostervloer zijn zowel hogere als lagere emissies gemeten (Kant <i>et al.</i> , 1992).
<b>Toepasbaarheid</b>	Het principe is zowel in bestaande stallen, door vervanging van de roostervloer, als nieuwe stallen toepasbaar.
<b>Kosten effectiviteit</b>	Omdat er nauwelijks emissiereductie te verwachten is blijft de kosten effectiviteit laag.
<b>Trade offs</b>	Doordat de mest en urine langer blijft liggen zal hygiëne nadelig beïnvloed worden. Verder neemt de stroefheid van de vloer tijdens het gebruik af. Dit leidt tot problemen met de beloopbaarheid door het vee.
<b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b>	Schuifrequentie is bepalend voor de effectiviteit van de emissiereductie.
<b>Bronnen</b>	De Haan en Ogink, 1994

<b>Dichte hellende vloer met mestschuif</b>	
<b>Beschrijving</b>	De dichte vloer wordt uitgevoerd met een helling. De soort helling en de richting verschillen per uitvoering. Meestal is sprake van een tweezijdige helling naar een giergoot in het midden en een hellingspercentage van 3%, maar ook een eenzijdige helling naar de boxrand of een helling dwars op de looprichting (berg en dal vloer) zijn mogelijk. Door de helling wordt de urine snel afgevoerd naar de giergoot. De mest wordt verwijderd door een schuif.
<b>Meetresultaten</b>	Op stalniveau is een emissiereductie gemeten van 48% (Swierstra, <i>et al.</i> , 1994) tot 68% (Bleijenberg <i>et al.</i> 1994a) ten opzichte van een roostervloer gemeten. In een modelopstelling maten Elzing <i>et al.</i> , (1992) een reductiepercentage van 35%. Het systeem is in verschillende uitvoeringen opgenomen in de RAV allen in combinatie met een beperking van het bevulde oppervlak tot maximaal 3 m <sup>2</sup> . De emissiefactor bedraagt 7,5 kg NH <sup>3</sup> per dierplaats per jaar in combinatie met beweiding en 8,6 kg NH <sup>3</sup> per dierplaats per jaar bij volledig opstallen.
<b>Toepasbaarheid</b>	Dit type vloer is bruikbaar in zowel bestaande stallen (door vervanging van de roostervloeren) als nieuwe stallen.
<b>Kosten effectiviteit</b>	Kamp <i>et al.</i> , (1993) hebben de investeringen en jaarkosten van een dichte vloer met helling berekend. De gegevens zijn echter gedateerd. De verwachting is dat onder de huidige omstandigheden de kosteneffectiviteit goed is. De emissiebeperking is redelijk en de extra kosten zijn beperkt.
<b>Trade offs</b>	De beloopbaarheid van dit vloertype is onvoldoende doordat de vloeren glad worden als gevolg van het vele schuiven en door het opdrogen van een dun laagje mest in de zomer. Het verbeteren van de beloopbaarheid door het opruwen van de vloer heeft een onbekend effect op de ammoniakemissie.
<b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b>	De schuiffrequentie is bepalend voor de effectiviteit van deze maatregel.
<b>Bronnen</b>	Haan, 1994; RAV, 2002

<b>Stalen roosters</b>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>In plaats van betonnen roosters worden roosters van staal gebruikt. Het voordeel hiervan is dat er geen indringing van mest en urine in de roosters kan plaatsvinden. De roosters hebben verder een smallere balk waardoor het bevuilde oppervlak afneemt. Er zijn verschillende varianten ontwikkeld. In de basisvariant was de kelder open en was het oppervlak van de roosters uitgevoerd als traanprofiel. Op basis hiervan is gevarieerd door de kelder af te sluiten door het monteren van een schuinvloer in de vorm van bakken. Verder is het oppervlak van de roosters voorzien van een rubberen afwerkinglaag die soms ingestrooid was met zand of voorzien van groeven om het oppervlak stroever te maken.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Eerste metingen door Kant (1996) lieten een emissiereductie van 52% ten opzichte van een betonnen rooster zien. Bij deze variant was de kelder afgesloten met bakken waarin de mest werd opgevangen. Latere metingen door Blanken en Van Lent (2001) lieten een reductiepercentage van maximaal 27% zien voor het stalen rooster met bakken en maximaal 8% voor stalen roosters met afwerklaag maar zonder mestbakken.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Dit type roosters is zowel in bestaande stallen als nieuwe stallen toe te passen.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>De kosten worden door Kant (1996) een factor 10 hoger geschat in vergelijking met betonnen roosters. Daarnaast is de levensduur beperkt tot 10 jaar. Gezien de beperkte emissiereductie is de kosteneffectiviteit laag.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>De toepassing van stalen roosters leidde tot een toename van het aantal klauwproblemen. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door toenemende druk onder de klauw omdat de roosterbalken smaller zijn.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Kant, 1996; Blanken en Van Lent, 2001</p>

<p><b>Sleufvloer</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>De sleufvloer is een dichte betonvloer met giergoten die in de lengterichting lopen. In deze giergoten zitten gaten die afvoer van de urine naar de onderliggende mestopslag mogelijk maken. Het emissiereducerend effect is gebaseerd op een afsluiting van de kelder en een snelle afvoer van urine via de goten en de gaten in de goten.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>De sleufvloer is opgenomen in de RAV-lijst. Daarin is een emissiefactor van 7,7 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar met beweiding en 9,2 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar bij permanent opstallen opgenomen. Dat betekent een emissiereductie van respectievelijk 19 en 16% ten opzichte van een roostervloer. Eerder hadden Swierstra <i>et al.</i> (2001) een emissiereductie van 46% ten opzichte van een roostervloer gemeten.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>De sleufvloer is zowel in bestaande stallen (bij renovatie) als in nieuwe stallen toe te passen.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>De kosten voor een sleufvloer liggen hoger dan voor een roostervloer door een hogere prijs per m<sup>2</sup>, de schuifinstallatie en de afstortconstructie. Gezien het emissiereducerend effect is de kosteneffectiviteit redelijk te noemen.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Verder hebben koeien in de looprichting minder grip vergeleken met een roostervloer. Door het frequente schuiven ontstaan na enige jaren problemen met de begaanbaarheid.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Het afbreukrisico op het gebied van ammoniakemissie is beperkt. Gevoeligheid ligt vooral op gebied van stroefheid en beloopbaarheid.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Swierstra <i>et al.</i> (2001); Monteny <i>et al.</i>, 2001, Huis in 't Veld en Scholten, 1998; Huis in 't Veld <i>et al.</i>, 2001</p>

<p><b>Afsluiting roosterspleten</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Ongeveer de helft van de ammoniakemissie bij een ligboxenstal met roostervloer en mestopslag is afkomstig van de kelder (kelderemissie). Deze emissie wordt veroorzaakt door luchtbeweging over het mestoppervlak in de kelder en uitwisseling tussen lucht onder en boven de roosters door de roosterspleten (kelderventilatie). Bij dichte vloeren wordt deze bijdrage uit de kelder voorkomen maar moet de mest naar een afstort geschoven worden. Het afsluiten van de roosterspleten zodanig dat er geen continue luchtuitwisseling is maar wel als dat nodig is mest kan passeren zou een tussenoplossing zijn. Een dergelijk systeem is momenteel nog niet commercieel beschikbaar. In het verleden is daar echter in Nederland door verschillende leveranciers van betonnen vloerelementen aan gewerkt en ontwikkelingen van een toepassing voor vleesstieren in Ierland lijken in Nederland ook voor melkvee toepasbaar.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>In Monteny (2001) wordt een model beschreven voor de luchtuitwisseling door de roosterspleten. Dit kan gebruikt worden voor inschatting van het emissiereducerend effect. Er zijn nog geen metingen bekend van deze optie. Uitgaande van de bijdrage van de kelderemissie aan de totale emissie bij ligboxenstallen is de het reductiepotentieel 50%.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Afhankelijk van de uitvoering van het systeem lijkt toepassing in zowel bestaande als nieuwe stallen mogelijk.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Aangezien nog geen kosten van een mogelijk systeem bekend zijn is inschatting van de kosteneffectiviteit niet mogelijk</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Mogelijke trade off liggen op het gebied van beloopbaarheid vloeren</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Mogelijk afbreukrisico ligt op het gebied van robuustheid en levensduur van het systeem.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Monteny, 2001</p>

<p><b>Beperking ureaseactiviteit</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Ureum wordt onder invloed van het enzym urease omgezet in ammoniak. Het enzym wordt gevormd door micro organismen die in feces en op met feces besmeurd oppervlak aanwezig zijn. Door de activiteit van urease te beperken wordt de omzetting van ureum in ammoniak verminderd. De urease activiteit wordt gedefinieerd als de snelheid waarmee ammoniak wordt gevormd uit een overmaat ureum en uitgedrukt in mg NH<sub>3</sub>-N per m<sup>2</sup> per uur (Braam en Van den Hoorn, 1996). Er kunnen verschillende methoden en middelen gebruikt worden voor de vermindering van de ureaseactiviteit.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Leinker <i>et al.</i> (2007) rapporteert voorlopige resultaten die een vermindering van de vorming en emissie van ammoniak van 82-88% bij toepassing van een niet nader genoemd middel laten zien.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>De toepasbaarheid lijkt van bovengenoemd middel lijkt groot maar moet nog bewezen worden in de praktijk.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Er zijn nog geen gegevens bekend over de kosteneffectiviteit.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Mogelijke trade-off hangen af van de eigenschappen van het gebruikte middel.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Waarschijnlijk kan de emissiereductie alleen gedurende een korte tijd gereduceerd worden en is een continue toediening van ureaseremmers noodzakelijk.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Leinker <i>et al.</i>, 2007; Braam en Van den Hoorn, 1996</p>

## Vloerafwerking

<p><b>Roostervloer met afwerking</b></p>
<p><b>Beschrijving</b>          Door het aanbrengen van een afwerking op de roostervloer wordt de aanhechting van mest aan het vloeroppervlak verminderd. Ook de indringing van de mest en urine in de vloer neemt af. Verder blijft minder mest op het vloeroppervlak achter en de urine kan sneller afgevoerd worden. Hierdoor zou de ontwikkeling van micro-organismen die ureum omzetten in ammoniak geremd worden. In de jaren 90 zijn epoxytroffels gebruikt als toplaag.</p>
<p><b>Meetresultaten</b>          Dit systeem is niet opgenomen in de RAV-lijst. Elzing <i>et al.</i> (1992) en Swierstra <i>et al.</i> (1994) vonden nauwelijks emissiereductie ten opzicht van onbehandelde roosters.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b>          Het aanbrengen van een epoxylaag of een coating is zowel in bestaande als nieuwe stallen mogelijk. De hechting aan gebruikte roostervloeren of dichte vloeren kan slechter zijn dan die op nieuwe vloerelementen.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b>          Epoxytroffels worden meestal toegepast in melkstallen. De kosten bedragen dan € 80-90 per m<sup>2</sup>. Coatings zijn goedkoper maar minder duurzaam. De kosten voor coatings bedragen ongeveer € 40 per m<sup>2</sup>. Omdat er nauwelijks emissiereductie behaald wordt is de kosteneffectiviteit laag.</p>
<p><b>Trade offs</b>          Door de gladde uitvoering van het roosteroppervlak kan de begaanbaarheid van de roosters afnemen met locomotieproblemen bij het vee als gevolg.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b>          Duurzaamheid van de afwerking is beperkt.</p>
<p><b>Bronnen</b>          De Haan en Ogink, 1994</p>

<p><b>Dichte hellende vloer met afwerking en mestschuif</b></p>
<p><b>Beschrijving</b>  Het werkingsprincipe is gelijk aan die van de dichte hellende vloer. Door de vloer te voorzien van een toplaag wordt de afvoer van de urine versneld en zal er minder mest en urine in de vloer dringen. De afwerking kan een epoxylaag of coating zijn.</p>
<p><b>Meetresultaten</b>  Door aan aanbrengen van een afwerking wordt de ammoniakemissie op stalniveau ten opzichte van een dichte hellende vloer zonder afwerkinglaag niet veel verlaagd (Elzing <i>et al.</i>, 1992; Swierstra <i>et al.</i>, 1994). Metingen met een lindvaldoos door Kant en Middelkoop (1994) en Kant <i>et al.</i>, (1992) laten een emissiereductie van respectievelijk 23% en 50% zien afhankelijk van het soort afwerking. Dit systeem is niet opgenomen in de RAV-lijst.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b>  De maatregel is toepasbaar in zowel nieuwe stallen als bestaande stallen met een dichte hellende vloer. De verwachting is echter dat de hechting van de afwerkinglaag bij een gebruikte vloer slechter zal zijn.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b>  Door extra kosten voor het aanbrengen van een afwerkinglaag en door het ontbreken van een emissie-effect op stalniveau is de kosteneffectiviteit ten opzichte van een dichte hellende vloer erg laag. Ten opzichte van een stal met roostervloer en kelders is die hoger maar nog steeds beperkt.</p>
<p><b>Trade offs</b>  Door het aanbrengen van de afwerkinglaag neemt de toch al slechte beloopbaarheid van deze vloer nog verder af.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b>  De schuifrequentie is bepalend voor de effectiviteit van deze maatregel en de duurzaamheid van de afwerkinglaag is beperkt.</p>
<p><b>Bronnen</b>  De Haan en Ogink, 1994</p>



<b>Gietasfalt</b>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Naast betonvloeren met een epoxylaag of coating is ook onderzoek gedaan naar gietasfalt als toplaag op betonvloeren. Gietasfalt heeft veel betere eigenschappen wat betreft beloopbaarheid door koeien vergeleken met epoxyvloeren en coatings. Het is niet ruw maar wel stroef ook onder natte omstandigheden. Het is verder vloeistofdicht, bestand tegen zuren en agressieve stoffen, snel aan te brengen, direct na afkoeling in gebruik te nemen en slijtvast (Kant, 1995). Gietasfalt bestaat uit grind en zand, bijeengehouden door bitumen.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>In Braam en van den Hoorn (1996) wordt (verwijzend naar Swierstra <i>et al.</i> 1994) een reductiepercentage van 50% gegeven bij metingen aan een vloer op in een praktijksituatie. Bij experimentele metingen aan proefstukken (30x30 cm) bleek de ureaseactiviteit bij gebruik van gietasfalt lager vergeleken met beton (Braam en van den Hoorn, 1996).</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Het aanbrengen van een gietasfaltvloer kan op nieuwe en bestaande vloeren. Ook toepassing op roosters is in principe mogelijk als zijn de randen gevoelig voor afbrokkelen.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Er zijn geen cijfers bekend van de kosteneffectiviteit van gietasfalt. Kant (1995) geeft aan dat het aanbrengen van een laag van 2 cm ongeveer 25 euro per m<sup>2</sup> kost. Op basis hiervan en de gevonden emissiereductiepercentages wordt geschat dat de kosteneffectiviteit redelijk groot is.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Er zijn geen negatieve neveneffecten bekend.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>De kwaliteit van de gietasfaltvloer hangt sterk af van het gebruikte toeslagmateriaal. Als dit te scherp is zullen klauwproblemen optreden door versnelde slijtage. Zowel in Noord Duistland als in Nederland is de afgelopen jaren in de praktijk weer geëxperimenteerd met gietasfalt. Als maat voor de stroefheid geldt het Leroux-getal dat bij aanleg 76 was (0=glad; 100=stroef). Een dichte betonnen vloer had waarde 71 en betonnen vloer met een epoxylaag afhankelijk van de dikte 60 of 51. Na 180 dagen gebruik had de gietasfaltvloer nog een waarde van 63, de dichte betonnen vloer 37 en de epoxyvloer 52. Over het algemeen geldt een minimum waarde van 60 als goed begaanbaar.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Kant, 1995; Braam en van den Hoorn, 1996</p>

<p><b>Rubber toplaag</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Betonvloeren zijn hard en ruw. Dit kan leiden tot een toenemend aantal klauwproblemen. Daarnaast laat de beloopbaarheid vaak te wensen over. Om beloopbaarheid te verbeteren en klauwaandoeningen te verminderen worden roosters en dichte vloeren in toenemende mate voorzien van klauwaandoeningen vormen met uiergezondheid en vruchtbaarheidsstoornissen de drie grootste gezondheidsproblemen in de melkveehouderij. Doordat men koeien vaker en langer op stal houdt, worden deze problemen steeds groter.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Er zijn geen metingen van ammoniakemissie bekend. Door snellere afvloeiing van urine, een betere schuifwerking en de ondoordringbaarheid van rubber op microschaal waardoor minder ureaseactiviteit verwacht.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Rubber matten kunnen zowel op roosters als op dichte vloeren gebruikt worden in zowel nieuwe als bestaande stallen.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Er zijn geen gegevens over de kosteneffectiviteit bekend. De kosten van rubber matten bedragen ongeveer 30-50 euro per m<sup>2</sup>. Omdat geen emissiereducties bekend zijn kan geen inschatting gemaakt worden van de kosteneffectiviteit.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Verschillende bronnen geven aan dat het aanbrengen van rubber leidt tot een betere klauwgezondheid. Vokey <i>et al.</i> (2001) rapporteert een betere klauwgezondheid bij toepassing van rubber vloeren in combinatie met zand in de ligboxen.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p>
<p><b>Bronnen</b></p>

## Spoelsystemen

Spoelen van vloeren is een veel onderzochte variant. Er zijn dan ook verschillende spoelsystemen ontwikkeld die variëren in de manier van spoelen (twee spoelleidingen aan weerszijden van de loopvloer of een spoelschuif), de instellingen (frequentie, duur, hoeveelheid vloeistof) en de gebruikte vloeistof (water, behandelde dunne mesfractie, aangezuurde vloeistof, formaline).

<p><b>Spoelen van een roostervloer</b></p>
<p><b>Beschrijving</b> De roostervloer wordt voor of na het schuiven besproeid met vloeistof. Dat kan water zijn, aangezuurde vloeistof of formaline.</p>
<p><b>Meetresultaten</b> Kant en Jagtenberg (1995) vonden geen of slechts geringe emissiereductie door het spoelen van roostervloeren met water bij een verbruik van 25 liter per koe per dag. Bij gebruik van 12 liter per koe per dag werd zelfs een geringe stijging van de emissie gevonden. De Boer <i>et al.</i> (1994) vonden een reductie van de ammoniak van 0-13% als gevolg van spoelen bij een waterverbruik van 50-110 liter per koe per dag. Bleijenberg <i>et al.</i> (1994a) vonden een emissiereductie van 17-28% bij een waterverbruik van 17-47 liter per koe per dag. Bij spoelen met een formaldehydeoplossing vonden De Boer <i>et al.</i> (1994) een emissiereductie van 22%. Bleijenberg <i>et al.</i> (1994b) vonden een emissiereductie van 43% ten opzichte van het spoelen met water en 50% ten opzichte van een referentieafdeling. Het gebruik van spoelvloeistof lag op 19 liter per dier per dag. Het spoelen van roosters is opgenomen in de RAV lijst en heeft een emissiefactor van 7,6 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar bij beweiding en 8,5 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar bij permanent opstallen.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b> Spoelleidingen kunnen zowel in bestaande als nieuwe stallen aangebracht worden.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b> Kamp <i>et al.</i> (1993) hebben de investeringen voor het spoelsysteem berekend. De getallen zijn echter gedateerd. De verwachting onder de huidige omstandigheden is dat hoewel de ammoniakemissie afneemt met 20-25% (RAV lijst) de kosteneffectiviteit laag is. Dit komt door de extra kosten die moeten worden gemaakt voor de spoelinstallatie en de opslag en het uitrijden van het extra mestvolume dat ontstaat door het spoelen.</p>
<p><b>Trade offs</b> Het mestvolume neemt aanzienlijk toe wanneer met water wordt gespoeld. Formaline is schadelijk voor mens en dier. Behandelen van urine of scheidingsvloeistof brengt extra kosten met zich mee.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b> Spoelfrequentie, waterverbruik, spoelduur en formalineconcentratie zijn bepalend het behaalde emissiereducerende effect.</p>
<p><b>Bronnen</b> De Haan en Ogink, 1994</p>

<p><b>Spoelen dichte vloer met helling</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>De dichte vloer wordt voor, tijdens of na het schuiven besproeid met vloeistof. Dat kan water zijn, aangezuurde vloeistof of formaline. Spoelvloeistof wordt toegediend door een spoelleiding of met een spoelschuif.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Kant <i>et al.</i> (1992) vonden een reductiepercentage van 50% bij metingen met een lindvalldoos op een vloer die twee keer per uur gespoeld werd met 0,15-0,30 liter water per m<sup>2</sup> per spoelbeurt. Gebruik van weinig water (alleen bevochtigen) gaf zelfs een hogere emissie. Een extra emissiereductie werd gemeten wanneer de vloer voorzien was van een coating (0,15 liter per m<sup>2</sup> per spoelbeurt).</p> <p>Huis in 't Veld <i>et al.</i> (1994a) vonden een emissiereductie van 28-34% bij een waterverbruik van 20-50 liter per koe per dag. De spoelfrequentie was eenmaal per twee uur. Wanneer de vloer afgewerkt was met een epoxytroffel bedroeg de emissiereductie 26-33% bij een waterverbruik van 24 liter per koe per dag (Huis in 't Veld <i>et al.</i> 1994b).</p> <p>Bij spoelen met een formalineoplossing (4 gram per liter) en een spoelschuif werden reducties van 39% bereikt ten opzichte van een dichte hellende vloer zonder spoelen. Ten opzichte van een roostervloer bedroeg de reductie 87% (Bleijenberg <i>et al.</i> 1994b). Er werd gespoeld met 34 liter per koe per dag.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Spoelleidingen kunnen zowel in bestaande als nieuwe stallen aangebracht worden. Ook een bestaande schuif kan voorzien worden van een spoelinstallatie.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Ten opzichte van een roostervloer is de kosteneffectiviteit redelijk maar het emissie reducerend effect is dan niet alleen aan spoelen toe te schrijven maar aan de combinatie van een hellende vloer en spoelen.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Het mestvolume neemt aanzienlijk toe wanneer met water wordt gespoeld. Formaline is schadelijk voor mens en dier. Behandelen van urine of scheidingsvloeistof brengt extra kosten met zich mee. Het spoelen kan bijdragen aan een verbetering van de beloopbaarheid van de betonnen vloer. De slechte begaanbaarheid van dit type vloeren is een belangrijk nadeel.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Spoelfrequentie, waterverbruik, spoelduur en formalineconcentratie zijn bepalend het behaalde emissiereducerende effect.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>De Haan en Ogink, 1994</p>

## Mestopslagen

<b>Geen mestopslag in de stal/mest direct verwijderen uit stal</b>
<p><b>Beschrijving</b>                  Door geen mest in de stal op te slaan wordt de emissie uit deze mestvoorraad voorkomen. De mest wordt direct uit de stal verwijderd en getransporteerd naar een externe opslag.</p>
<p><b>Meetresultaten</b>                  Metingen aan een stal zonder mestopslag komen overeen met de metingen aan dichte vloeren.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b>                  Deze oplossing is alleen bij nieuwbouwsituaties te realiseren.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b>                  Vanaf een bepaalde bedrijfsomvang (ca. 100 koeien) en afhankelijk van de draagkracht van de grond is het goedkoper om mestopslag buiten de stal te bouwen in plaats van onder de stal.</p>
<p><b>Trade offs</b>                  Omdat er minimaal 6 maanden opslagcapaciteit aanwezig moet zijn moet elders op het bedrijf opslagcapaciteit gerealiseerd worden. Ook daar kan enige ammoniakemissie optreden. Omdat de mestopslag onder de stal zich geheel onder de grond bevindt is mesttemperatuur gemiddeld lager dan in een externe opslag. De ammoniakemissie neemt af bij lagere temperaturen. Het ontbreken van mestopslag in de stal zal het binnenklimaat in de stal ten goede komen.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b>                  Er is geen afbreukrisico of gevoeligheid bekend.</p>
<p><b>Bronnen</b>                  VROM (1990)</p>

<p><b>Afdekken mestopslagen</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Om emissie vanuit een mestopslag buiten de stal te voorkomen moet deze afgedekt worden (VROM, 1990). Daarvoor zijn verschillende afdekmethoden en –materialen onderzocht. Bouwkundige methoden, een drijvende afdekking, het afdekken met een strokorst en het afdekken met een vloeistoflaag.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Van der Meer (1991) schatte in dat ongeveer 10% van de aanwezige stikstof verloren gaat door emissie tijdens de opslagperiode. In De Haan en Ogink (1994) worden meetresultaten van De Bode (1990a) naar verschillende soorten afdekking weergegeven (drijvende polystyreenplaten, drijvend folie, golfplaten, tent en kunststofpanelen). Behalve de afdekking met golfplaten gaven alle afdekkingen een reductie van meer dan 70%. Door Bode (1990b), Oosthoek (1993) en Verboon <i>et al.</i>, (1992) is onderzoek gedaan naar de afdekking van mestopslagen met stro met reductiepercentage variërend van 65-90%. Een commissie van deskundigen bepaalde het reductiepercentage op 65-70% (Korevaar <i>et al.</i>, 1993). Derikx <i>et al.</i> (1995) hebben onderzoek gedaan naar drijvende afdeklagen. Er werden zowel minerale als plantaardige oliën gebruikt. De reductie onder laboratoriumomstandigheden bedroeg 84-96% bij een laafdikte van 10 mm. Bij toepassing in een praktijkstal voor varkens werden emissiereducties van 40-45% gemeten.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Toepassing van alle genoemde afdekkingen is mogelijk in zowel bestaande als nieuwe opslagen. Mestbassins moeten gebouwd worden volgend de eisen van de Bouwtechnische richtlijnen mestbassins, toegelicht in de Handleiding Bouwtechnische richtlijnen mestbassins (HBRM, 1991).</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Door Verboon <i>et al.</i>, (1992) wordt een bedrag genoemd van € 10-20 per m<sup>2</sup> voor een constructieve afdekking en € 1-3 voor de vermindering van de ammoniakemissie met 1 kg per ha. Er zijn geen gegevens bekend over de kosteneffectiviteit van vloeibare afdeklagen.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Door vermindering van emissie uit de opslagen neemt het risico op ammoniakemissie tijdens toediening van de mest toe. Het gebruik van vloeibare afdeklagen kan op zichzelf weer leiden tot emissies, gevaarlijke situaties door explosiegevaar of bodemverontreiniging afhankelijk van de gebruikte vloeistof.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Strokorsten en vloeibare afdeklagen zijn gevoelig voor verstoring door weer of door het mengen van de mest.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>VROM (1990); Van der Meer (1991); (HBRM, 1991); De Haan en Ogink (1994); Bode (1990a); Bode (1990b), Oosthoek (1993) en Verboon <i>et al.</i>, (1992); Derikx <i>et al.</i>, (1995); (Korevaar <i>et al.</i>, 1993)</p>

<b>Photo-katalytische filtering i.c.m. afdekking van mestopslagen</b>
<p><b>Beschrijving</b>                  Door Espagnol <i>et al.</i> (2006) wordt het emissiereducerende effect van een Photo-katalytische afdekking van een opslag voor varkensmest besproken.</p>
<p><b>Meetresultaten</b>                  Ammoniakemissie uit de opslag verminderde met 70% vergeleken met een niet afgedekte opslag.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b>                  Onderzoek vond plaats op schaalmodellen. Over toepasbaarheid op praktijkschaal is nog onvoldoende bekend</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b>                  Kosten voor toepassing op praktijkschaal is nog niet bekend</p>
<p><b>Trade offs</b>                  De emissie van methaan uit de afgedekte opslag was hoger dan die uit de niet opgedekte opslag ondanks het feit dat 71% van de gevormde methaan door de afdekking werd afgebroken.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b>                  Hoog vanwege bestaande onzekerheden.</p>
<p><b>Bronnen</b>                  Espagnol <i>et al.</i>, 2006</p>

<b>Balansballen</b>
<p><b>Beschrijving</b> Balansballen zijn bedoeld om het emitterend mestoppervlak te verkleinen door het af te sluiten. De ballen zijn van kunststof en drijven op het mestoppervlak. Wanneer er mest opvalt, draaien ze door dat gewicht om zodat de mest in de put terecht komt en een relatief schoon oppervlak boven komt.</p>
<p><b>Meetresultaten</b> Er zijn tot op heden geen officiële meetresultaten gepubliceerd. Oriënterende metingen in varkensstallen geven een indicatieve emissiereductie van ongeveer 40%-50% (Bokma, 2007).</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b> Wanneer de balansballen voldoende effectief blijken te zijn kunnen ze worden toegepast in alle soorten mestopslagen.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b> Er zijn nog geen gegevens bekend van de kosteneffectiviteit. Factoren die een rol spelen zijn kosten en levensduur van de ballen.</p>
<p><b>Trade offs</b> Nog niet bekend</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b> Omdat, in tegenstelling tot varkensmest, op rundveemest zich een drijf laag vormt is effectiviteit in een rundveestal niet gegarandeerd. De mogelijkheid bestaat dat de emissie toeneemt omdat het totale met mest bevuilde oppervlak door de bolvorm ook groter wordt. Eigenschappen van de ballen bij mixen en/of verpompen van de mest zijn ook nog onzeker.</p>
<p><b>Bronnen</b> Bokma, 2007</p>



## Mestbehandeling

<b>Snelle droging / indampen</b>
<p><b>Beschrijving</b>  Het volledig drogen van de mest zet microbiologische omzettingen stil. Ook de vorming van ammoniak uit ureum stopt. Het mestvolume wordt aanzienlijk verkleind</p>
<p><b>Meetresultaten</b>  Er zijn geen meetresultaten van ammoniakemissie bij drogen of indampen van rundveemest bekend.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b>  Het volledig drogen van de mest vraagt een complexe installatie die niet geschikt is voor boerderijniveau. Bovendien moet dit proces zeer snel worden uitgevoerd wil men op Volledig drogen wordt daarom alleen in centrale mestverwerkinginstallaties toegepast. Indampen kan ook met de beschikbare energie in de stallucht. Hoeksema en Van den Berg (1993) hebben berekend dat daarmee 30% van het in de mest aanwezige water verdampt kan worden. Ook indamping in mobiele installaties behoort tot de mogelijkheden (Den Hartog en Voermans, 1994)</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b>  Kosteneffectiviteit is naar verwachting erg laag. Aan de ene kant zijn de kosten om mest te drogen hoog en aan de andere kant is de te verwachten emissie beperkt. Naschakeling van luchtreiniging (chemische luchtwassers) verlaagt de emissie maar verhoogd de kosten.</p>
<p><b>Trade offs</b>  Het opwekken van de energie die nodig is voor het drogen van de mest draagt bij aan de uitstoot van CO<sub>2</sub> als niet gekozen wordt voor de inzet van duurzame energie of gebruik van restwarmte.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b>  Drijfmest bevat zoveel water dat er erg veel energie nodig is het om het product volledig te drogen. Daarbij is de kans groot dat bij het drogen er een groot deel van het al gevormde ammoniak emitteert. Droging of indamping wordt daarom vrijwel alleen toegepast na scheiding van de mest.</p>
<p><b>Bronnen</b>  Den Hartog en Voermans, 1994</p>

<p><b>Scheiding</b></p> <p><b>Beschrijving</b></p> <p>Door mest te scheiden wordt de stikstof herverdeeld over de twee scheidingsproducten. In de ideale situatie bevindt alle minerale stikstof (voornamelijk ammoniak) zich in de dunne fractie en alle organische gebonden stikstof in de dikke fractie. Door mest en urine zo snel mogelijk te scheiden is het daardoor mogelijk de omzetting van (een deel) van het in de urine aanwezige ureum in ammoniak te voorkomen. Hoe later de scheiding plaatsvindt in de keten van productie, opslag en toediening hoe minder het emissiereducerend effect zal zijn. Er zijn verschillende scheidingsmethoden en –technieken beschikbaar.</p> <p>Primaire scheiding gaat uit van de snelle afvoer van urine door middel van een giergoot eventueel gecombineerd met een hellend vloeroppervlak. Op het lagekostenbedrijf van de Waiboerhoeve in Lelystad is daar een aantal jaren onderzoek naar gedaan (de Haan <i>et al.</i>, 2003).</p> <p>Scheiding onder de roosters hellende of bolle mestbanden (Verdoes en De Haan, 1990) wordt in de varkenshouderij toegepast en is voor gespeende biggen opgenomen in de RAV lijst.</p> <p>Voor het scheiden van drijfmest zijn verschillende methoden en technieken beschikbaar. Scheiding is dan echter vaker gericht op volumevermindering of opgenomen in een verdere verwerking van de verschillende fracties.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>De emissiereducerende werking van de hellende vloer met giergoot is gebaseerd op mestscheiding. Ook de sleufvloer maakt gebruik van dit principe.</p> <p>De emissiefactor voor een hellende mestband onder de roosters bij gespeende biggen bedraagt 0,2-0,25 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar; een reductie van 67%.</p> <p>Scheiden van drijfmest levert nauwelijks emissiereductie op.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Primaire mestscheiding is gekoppeld aan een vloersysteem (zie aldaar). Mestscheiding onder de roosters kan aangebracht worden op bestaande en nieuwe bedrijven al zullen de kosten voor bestaande stallen hoger zijn. Scheiding van mest na mening is eenvoudig mogelijk op alle bedrijven.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Voor kosteneffectiviteit van primaire mestscheiding: zie onder dichte hellende vloer en sleufvloer.</p> <p>Er zijn geen gegevens over de kosteneffectiviteit van mestbanden in rundveestallen bekend. De verwachting is dat die ondanks de emissiereductie matig zal zijn door de hoge kosten van het aanbrengen van de mestbanden. Scheiding van drijfmest kost ongeveer €2-5 euro per m<sup>3</sup> (<a href="http://www.mestverwerken.wur.nl">www.mestverwerken.wur.nl</a>) maar emissiebeperking is nihil. Daardoor is geen sprake van kosteneffectiviteit of van een heel lage.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Door scheiding met behulp van mestbanden onder de roosters gaat een deel van de opslagcapaciteit verloren waarvoor vervanging zal moeten worden gebouwd.</p> <p>Scheiden van drijfmest levert niet of nauwelijks nadelige bijeffecten op afgezien van mogelijke geluidshinder bij mechanische scheidings.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Effectiviteit van de emissievermindering is afhankelijk van de mate waarin scheiding slaagt. Vooral bij primaire scheiding is een snelle afvoer van urine essentieel.</p>
<p><b>Bronnen:</b></p> <p>Verdoes en De Haan, 1990</p>

<p><b>Aanzuren</b></p> <p><b>Beschrijving</b></p> <p>Door verlaging van de zuurgraad (pH) verschuift het evenwicht tussen <math>\text{NH}_4^+</math> en <math>\text{NH}_3</math> (l) richting <math>\text{NH}_4^+</math>. Er zal dus minder ammoniak in oplossing zijn en daardoor ook minder kunnen emitteren naar <math>\text{NH}_3</math> (g). Verlaging van de zuurgraad is daarmee theoretisch een effectieve methode. Verschillende soorten zuur komen in aanmerking. Zowel organische als anorganische zuren komen in aanmerking. In die laatste categorie vallen salpeterzuur, zwavelzuur en fosforzuur. Ook microbiel aanzuren (waarbij bacteriën door omzetting van suiker zuur vormen) is een onderzochte optie. Aanzuring heeft zowel plaatsgevonden in de opslag in de stal als in een externe mestopslag.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Demmers(1991) heeft de emissievermindering in open mestopslagen (minisilo's) met rundveemest en kwam tot een emissiereductie van 93% ten opzichte van niet afgedekte minisilo's bij een pH van 4,2.</p> <p>De emissiereductie door aanzuren van mest in de kelder bedraagt 35-40% (Westreenen <i>et al.</i>, 1992). De emissie vanaf de roosters werd niet beïnvloed. Ook door Van Lent (1995) en Van Lent <i>et al.</i> (1995) is onderzoek gerapporteerd naar aanzuren van mest. Reductiepercentages van ammoniakemissie uit de stal waren 30% lager. Emissies uit een mestsilo lagen nam af met 90% beiden bij een pH van 4,5.</p> <p>Door Hendriks en Vrieling (1996) is onderzoek gedaan naar de emissiereductie door microbiel aanzuren bij vleesvarkens. Daarvoor is mest aangezuurd met citroenzuur en geënt met melkzuurbacteriën. Door toevoeging van tarwe, tarwezetmeel en aardappelzetmeel werden de bacteriën gevoed. De pH daalde met 1 punt tot 6,0 en de emissie bedroeg 1,26 tot 1,39 kg <math>\text{NH}_3</math> per dierplaats per jaar. Er is geen referentieafdeling meegenomen. Dieren waren gehuisvest op een gedeeltelijk (bolle) dichte vloer.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Vanuit technisch oogpunt is toepassing op bestaande bedrijven mogelijk. Het zuurverbruik per individueel bedrijf varieert tussen de 20 en 35 liter (60% <math>\text{HNO}_3</math>, s.g. 1,37 kg/liter, 13,3% N) per ton mest. Omdat bij gebruik van salpeterzuur stikstof wordt aangevoerd zullen de mogelijkheden van aanzuren zonder over te moeten gaan tot mestafvoer afhangen van de intensiteit van melkveebedrijven. Extensieve bedrijven zullen eerder aanzuring (bij toepassing van salpeterzuur) toe kunnen passen en meer zuur kunnen aanvoeren waardoor de effectiviteit groter is.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Van Lent <i>et al.</i>, (1995) rapporteren een dalende arbeidsopbrengst van 150 tot 170 euro per ha bij een bedrijfsgrootte van 60 ha en een productieniveau van 7000 kg per dier, een intensiteit van 12.000 kg per ha en een stikstofgift van 400 kg per ha. Bij grotere bedrijven dalen de kosten per ha. Gezien de reductiepercentages is de kosteneffectiviteit groot.</p> <p>De kosten van het aanzuren kunnen verlaagd worden door de koeien een eiwitarm rantsoen te voeren. Een reductie van 24% van het zuurverbruik lijkt mogelijk te zijn (Kroodsma <i>et al.</i>, 1994).</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Door niet goede menging van de mest en te hoge pH (5,0-7,0) kan denitrificatie optreden waardoor lachgas (<math>\text{N}_2\text{O}</math>) vrijkomt. Door de toevoeging van anorganische zuren stijgt het gehalte aan stikstof, zwavel of fosfor. Dit heeft in alle gevallen negatieve bijwerkingen zoals stijging van mineralenbelasting of kans op het vrijkomen van schadelijke gassen.</p> <p>Ook de emissie tijdens aanwenden van de mest daalde, met 85% bij het aanwenden met een spreidplaat (van Lent, 1995)</p> <p>Het microbiel aanzuren heeft als grote nadeel de kans het vrijkomen van methaan doordat al in de mest aanwezige methaanvormende bacteriën ook gestimuleerd worden door de voeding die toegevoegd wordt aan de mest. Aan de andere kant zijn methaanvormende bacteriën gevoelig voor zure omstandigheden en zal de methaanvorming geremd worden door sterke verlaging van de pH.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>De emissiereductie hangt af van de zuurgraad en het constant houden van deze zuurgraad voor de hele voorraad mest is een belangrijk afbreukrisico. Verder brengt het aanzuren van mest risico's ten aanzien van gezondheid en veiligheid met zich mee.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Demmers, 1991; Hendriks en Vrieling.1996; Van Lent, 1995, Van Lent <i>et al.</i> 1995; Kroodsma <i>et al.</i>, 1994</p>

<p><b>Beluchten</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Door het inbrengen van lucht komt nitrificatie op gang waardoor ammoniak omgezet wordt in nitraat. Wanneer denitrificatie volgt wordt dit nitraat omgezet in stikstofgas (N<sub>2</sub>). Dit kan uitgevoerd worden in drijfmest maar wordt vaker toepast in de dunne fractie na scheiding van drijfmest.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Er zijn geen meetresultaten bekend van beluchting van rundveemest. Beluchten is een bekende en bewezen techniek bij verwerking van kalvergier, dunne scheidingsfracties en in de afvalwaterzuivering. Ervaringen daar leren dat ongeveer 70% van de aanwezige stikstof verwijderd wordt.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Het droge stofgehalte en de viscositeit van rundermest is anders dan van de hierboven genoemde stromen waarbij ervaring is opgedaan met beluchting. Verder is de techniek niet zo geschikt voor boerderijschaal vanwege de hoge mate van processturing.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>De kosten van beluchten worden geschat op € 11 per m<sup>3</sup>. Kosteneffectiviteit bedraagt € 7,14 per kg verwijderde NH<sub>3</sub> als uitgegaan wordt van 2,2 kg NH<sub>3</sub> per ton drijfmest en een verwijdering van 70% van de aanwezige NH<sub>3</sub>.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Bij een niet goed verlopend proces kunnen stikstofverliezen in de vorm van lachgas optreden. Er zijn indicaties dat dit bij ongeveer 10% van de ingaande stikstof het geval is. Verder is het energieverbruik van de installatie groot (15-30 kWh per ingaande ton drijfmest). Door het beluchten zal ook de emissie van methaan afnemen omdat methaan gevormd wordt onder anaerobe omstandigheden.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>De effectiviteit hangt af van een goed verlopend proces van nitrificatie en denitrificatie. Een goede processturing is daarvoor noodzakelijk.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p><a href="http://www.mestverwerken.wur.nl">www.mestverwerken.wur.nl</a>; Willers <i>et al.</i>, 1996</p>

<p><b>Koelen</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Door het koelen van de mest of de hele stal zal het proces van ammoniakvorming en –emissie minder snel verlopen. In de varkenshouderij wordt een koeldekstelsysteem toegepast. Door middel van drijvende elementen wordt warmte aan de mest onttrokken. Daarvoor wordt grondwater ingezet. De onttrokken warmte kan men inzetten voor verwarming van de stallen.</p> <p>Koelen van de binnenkomende ventilatielucht is een mogelijkheid om de staltemperatuur te verlagen. Daarvoor kunnen actieve koelelementen aangebracht worden in de ventilatieopeningen of kan gebruik worden gemaakt van het koelen van lucht door verdamping van water. Deze zogenaamde ‘evaporative pads’ worden in de VS ingezet in cross ventilated barns om hittestress te voorkomen.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Er zijn verschillende uitvoeringen van een koeldekstelsysteem voor de varkenshouderij opgenomen in de RAV lijst. De emissiereductie bedraagt ongeveer 50%. Smits <i>et al.</i> (2005) noemen een reductiepercentage van 15-45%. Er zijn geen resultaten bekend van emissiemetingen bij ventilatieluchtkoeling.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Het koeldekstelsysteem is niet in de rundveehouderij toegepast maar lijkt technisch inzetbaar. Praktische ervaringen moeten nog worden opgedaan.</p> <p>Ervaringen met mechanische dwarsventilatie is in de VS opgedaan maar niet vanuit oogpunt van emissiereductie. Ombouw van een stal vraagt een hoge investering. Toepassing is eigenlijk alleen mogelijk bij nieuwbouwsituaties.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Volgens Smits <i>et al.</i> (2005) bedragen de kosten voor een koeldekstelsysteem in de kalverhouderij € 130 per dierplaats aan investeringen en € 0-30 per dierplaats aan exploitatiekosten. De kosteneffectiviteit is daarmee redelijk goed.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Voor het koeldekstelsysteem wordt grondwater gebruikt. Dit is aan regels gebonden. Door hergebruik van de onttrokken warmte kan energie bespaard worden. Gebruik van evaporatieve luchtkoeling vraagt veel energie voor ventilatie (vergeleken met natuurlijk geventileerde stallen).</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Het afbreukrisico wordt door Smits <i>et al.</i> (2005) voor toepassing in de kalverhouderij laag geschat. De effectiviteit van het systeem is afhankelijk van de gerealiseerde temperatuurverlaging. Het afbreukrisico van de evaporatieve koeling is beperkt maar de gevoeligheid waarschijnlijk groot.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Smits <i>et al.</i>, 2005</p>

<b>Verdunnen</b>
<p><b>Beschrijving</b> Door het verdunnen van de mest daalt de concentratie aan ammoniak en wordt de emissie vertraagd.</p>
<p><b>Meetresultaten</b> Het werkingsprincipe van spoelen van roosters of dichter vloer is gedeeltelijk gebaseerd op het verdunningseffect (zie aldaar). Emissiemetingen bij direct verdunnen van mest in opslagen zijn niet bekend.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b> Eenvoudig toe te passen op bestaande en nieuwe bedrijven</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b> Als alleen de directe kosten van het verdunnen wordt meegenomen is de kosteneffectiviteit groot. Worden ook de indirecte kosten meegenomen (extra opslagcapaciteit en extra kosten voor uitrijden) dan daalt de kosteneffectiviteit aanzienlijk. Ook als verdund wordt met behandelde mestvloeistof is de kosteneffectiviteit laag omdat de kosten voor het bereiden van de vloeistof hoog zijn.</p>
<p><b>Trade offs</b> Het grootste nadeel is het toenemende mestvolume en de daarbij komende meerkosten voor opslag en toediening.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b> Afbreukrisico en gevoeligheid zijn laag.</p>
<b>Bronnen</b>

<p><b>Toevoegingen</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Toevoegmiddelen anders van zuren en middelen gebaseerd op adsorptie die bedoeld zijn de vorming of uitstoot van ammoniak te verminderen. Bekende voorbeelden voor rundveemest zijn Fysische Ionon Regulator (FIR), Effectieve Microben (EM) en Euromestmix. Voor varkensmest zijn ook andere producten beschikbaar.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Kant <i>et al.</i>, (1998) vonden geen effect op de ammoniakemissie door toevoeging van Euromestmix. Ook andere middelen zijn onderzocht. Effect op ammoniakemissie uit stal en opslag bij gebruik van FIR op het bedrijf van Spruit was niet aanwezig of kon niet alleen worden toegeschreven aan het gebruik van FIR (Sonneveld en Bouma, 2005) .</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>De toevoegmiddelen zijn bedoeld om aan de mest of eventueel aan het voer toe te voegen. Dit kan zowel in bestaande als nieuwe bedrijven plaatsvinden.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Aan het gebruik van de toevoegmiddelen zijn kosten verbonden. Aangezien de emissiereductie onzeker is, is de kosteneffectiviteit laag.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Eventueel vermeden emissies in stal of mestopslag kunnen bij toediening alsnog optreden.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Los van eventuele effectiviteit is het effect van de toevoegmiddelen gevoelig voor een juiste en tijdige toediening en dosering.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Sonneveld en Bouma, 2005; Kant <i>et al.</i>, 1998</p>

<p><b>Adsorptie</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Toevoegmiddelen gebaseerd op adsorptie hebben als functie de ammoniak aan zich te binden. Voorbeelden zijn actief kool, zeoliet en bentoniet, stro of zaagsel, superfosfaat en ijzersulfaat. Ander toepassingen van zeoliet zijn bij filtratie van lucht, hulpstof bij composteren, materiaal voor afdekking van mestopslagen of als voedingssupplement.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Er zijn geen meetresultaten bekend van de reductie van de ammoniakemissie na toediening van zeoliet of bentoniet aan mest. Inschatting door Verdoes en de Haan (1990) is een reductie van de ammoniakemissie van 95% bij gebruik van ijzersulfaat.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>De toepasbaarheid is beperkt omdat de bindingcapaciteit vergeleken met de totale hoeveelheid aanwezig ammonium te beperkt is. Er zouden erg grote hoeveelheden aan de mest toegevoegd moeten worden.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>De kosteneffectiviteit is naar verwachting laag.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Door de toevoeging van grote hoeveelheden adsorptiematerialen verandert de samenstelling van de mest en de manier waarop de mest verwerkt kan worden.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Effectiviteit is afhankelijk van de verhouding toegevoegd materiaal, bindingscapaciteit en aanwezige ammonium. Controle daarop is lastig en maakt het systeem gevoelig.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Den Hartog en Voermans, 1994; Infomil, 2007</p>



## 4.2 Methaan

### Huisvestingssysteem

<b>Ligboxenstal</b>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>In de ligboxenstal is het liggedeelte voor de koeien gescheiden van het loopgedeelte. De ligboxen zijn uitgevoerd als diepstrooiselboxen of voorzien van boxbedekking. De loopvloer is van beton, meestal in de vorm van een roostervloer.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Er zijn verschillende studies naar de emissiefactor voor methaan van melkvee. Niet altijd is daarbij een specifiek huisvestingssysteem voor ogen gehouden. In Sebek en Schils (2006) wordt een overzicht gegeven van gerapporteerde emissiefactoren voor melkvee gegeven. Deze variëren van 100 kg (IPCC, 1997), 102 kg (Van Amstel <i>et al.</i>, 1993), 130 kg (Corré, 2002) en 140-155 kg CH<sub>4</sub> per koe per jaar (Oudendag en Kuikman, 2003). Emissie is vooral onzeker door sterke variatie in rantsoenen voor melkvee. Variaties in huisvestingsystemen gebaseerd op drijfmest hebben daar maar beperkt invloed op.</p> <p>Huis in 't Veld en Monteny (2003) vonden bij meting op Koeien en Kansen bedrijven een gemiddelde methaanemissie van 0,5 kg CH<sub>4</sub> per koe per dag variërend van 0,31-0,71 kg CH<sub>4</sub> per koe per dag. Dit komt overeen met gemiddeld 185 kg CH<sub>4</sub> per dier per jaar bij volledig opstallen en 95 kg CH<sub>4</sub> per dier per jaar bij weidegang (190 dagen stalperiode). Het aandeel van de mestopslag bedroeg 160 gram CH<sub>4</sub> per koe per dag (58,4 kg CH<sub>4</sub> per koe per jaar).</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>De ligboxenstal is het meest gebruikte huisvestingssysteem voor melkvee. Wel hebben zich in de loop der jaren verschillende ontwikkelingen voorgedaan. Afmetingen van ligboxen en looppaden zijn verruimd. De ventilatieopeningen zijn vergroot en er is meer aandacht gekomen voor klimaatbeheersing, lichttoetreding en uitvoering van ligboxen.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>De ligboxenstal met roostervloeren en mestopslag in de stal wordt gezien als de referentie bij de ontwikkeling van emissiereducerende maatregelen. Er is daarom geen sprake van een kosteneffectiviteit</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Nadelige effecten van dit huisvestingssysteem (en andere die uitgaan van een betonnen loopoppervlak) liggen op het gebied van klauwgezondheid en beloopbaarheid van de vloeren.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>N.v.t.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Sebek en Schils, 2006</p>

<p><b>Potstal</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Bij de potstal is het lig- en loopgedeelte gecombineerd. Een potstal bestaat uit een groot ingestrooid lig en loopgedeelte en een vreetgedeelte dat meestal voorzien is van een roostervloer met mestopslag maar kan ook uitgevoerd worden met andere vloersystemen die gebruikelijk zijn in ligboxenstallen. Het aantal m<sup>2</sup>-ers per dier is groter dan in een ligboxenstal. Als strooiselmateriaal wordt meestal stro gebruikt.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>Door Groenestein en Reitsma (1993) is gemeten aan een potstal voor melkvee.</p> <p>Door Groenestein en Huis in 't Veld (1994) is de methaanemissie voor zoogkoeien gemeten. Zij rapporteren een emissie van 797 gram per dier per dag. Dat komt overeen met 291 kg CH<sub>4</sub> per dier per jaar. Dat is 2 à 3 keer zo veel als bij melkvee in een ligboxenstal.</p> <p>Ook door Ruis-Heutinck <i>et al.</i>, (1999) is met een lindvaldoos de methaanemissie van een roostervloer en een potstal voor vleesstieren gemeten. De emissie van methaan per m<sup>2</sup> lag 1,8 maal hoger terwijl de emissie van kooldioxide per m<sup>2</sup> 4 maal groter was.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Het huisvestingssysteem is in principe toepasbaar maar wordt weinig gebouwd. Alleen in de biologische sector en voor het huisvesten van zoogkoeien of vleesvee wordt de potstal redelijk frequent toegepast.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Hoewel de potstal een door het ontbreken van ligboxen en roostervloeren eenvoudiger uitgevoerd wordt dan een ligboxenstal zijn de bouwkosten door het grotere oppervlak per dier niet veel lager dan die van een ligboxenstal. Omdat er geen sprake is van emissiereductie maar van emissietoename is er geen sprake van kosteneffectiviteit.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Het stroverbruik in een potstal ligt op ongeveer 10 kg per dier per dag. Deze kosten maken de potstal minder aantrekkelijk. Daarbij komt dat het inbrengen van het stro een aanzienlijke arbeidsbehoefte vraagt. Daar staat tegenover dat de klauwgezondheid van koeien in een potstal over het algemeen duidelijk verbeteren (Somers <i>et al.</i>, 2005).</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>De omstandigheden in de potstal kunnen erg variëren en ook het management van de potstal (strooiselverbruik en instrooifrequentie) zijn variabel. Daardoor kunnen grote verschillen optreden in emissies tussen verschillende potstallen en is de gevoeligheid groot.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Groenestein en Reitsma, 1993; Groenestein en Huis in 't Veld, 1993; Ruis-Heutinck <i>et al.</i>, 1999</p>

## Ventilatie

<b>Affakkelen</b>
<p><b>Beschrijving</b> Methaan is een brandbaar gas. Door de verbranding van methaan wordt het omgezet in kooldioxide en water waarbij energie vrijkomt. Omdat kooldioxide een lagere broeikasfactor draagt verbranding bij aan vermindering van de uitstoot van broeikasgassen uitgedrukt in CO<sub>2</sub> equivalenten. Voor het verbranden van de methaan kan een fakkelinstallatie gebruikt worden.</p>
<p><b>Meetresultaten</b> Omdat methaan een broeikasfactor van 21 heeft wordt de broeikasgas emissie met een factor 21 verlaagd door omzetting in kooldioxide.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b> Fakkelinstallaties worden veel gebruikt in petro-chemische industrie. Voor de toepassing van een fakkelinstallatie moet voldaan worden aan de Nederlandse emissierichtlijn (NeR). Capaciteit van de installatie moet aangepast worden aan de opslagcapaciteit.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b> Kosteneffectiviteit wordt niet gerapporteerd. Melse (2003) berekent de kosten voor een fakkelinstallatie die toegepast wordt op een mestopslag van 1000 m<sup>3</sup>. Investeringskosten bedragen dan € 30.000,-. Jaarkosten zijn € 4.800,-.</p>
<p><b>Trade offs</b> Wanneer verbranding niet goed verloopt, kan er mogelijk uitstoot van NO<sub>x</sub> plaatsvinden.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b> Lekkage van methaan verlaagt het effect van de installatie sterk.</p>
<p><b>Bronnen</b> Hilhorst <i>et al.</i>, 2001; Melse, 2003</p>

<p><b>Biofilter</b></p>
<p><b>Beschrijving</b> De ventilatielucht wordt gefilterd met een biologisch filter. Melse (2003) heeft zowel de effectiviteit van een dergelijk filter voor ventilatielucht uit een stal als uit een mestopslag onderzocht. Hij is daarbij uitgegaan van vleesvarkens(mest).</p>
<p><b>Meetresultaten</b> Het biofilter verwijderde 85% van de in de lucht aanwezige methaan en bleek rechtevenredig met de methaanconcentratie.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b> Verwijdering van methaan uit ventilatielucht van stallen is niet mogelijk omdat de methaanconcentratie in de ventilatielucht te laag is. Dit leidt tot een filter met gigantische omvangen (&gt;10.000 m<sup>3</sup>). Omdat de concentratie van methaan in lucht bovenin een mestopslag veel hoger is lijkt biologische zuivering daar wel haalbaar. Het filter zou een omvang van 20-80 m<sup>3</sup> moeten hebben afhankelijk van de methaanconcentratie bij een verwijderingrendement van 50%.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b> De kosteneffectiviteit van biologische zuivering van stallucht is erg laag door de hoge kosten van het biologische filter. Emissiereductiekosten bedragen €110-142 per ton CO<sub>2</sub>-equivalenten in een 'best case' scenario tot €398-528 per ton CO<sub>2</sub>-equivalenten in een 'worst case' scenario.</p>
<p><b>Trade offs</b> Door het biofilter wordt ook de geur- en ammoniakemissie verminderd.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b> Omdat sprake is van biologische activiteit is de effectiviteit erg afhankelijk van de vitaliteit van de microbiologie van het filter.</p>
<p><b>Bronnen</b> Melse, 2003</p>

## Veevoeding

<p><b>Aanpassing veevoeding</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Doel van de voeraanpassingen is de pens zodanig te beïnvloeden dat er minder methaan wordt geproduceerd. Tamminga <i>et al.</i> (2007) noemen een aantal mogelijkheden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbeteren van de ruwvoer kwaliteit</li> <li>• Groter aandeel krachtvoer in het rantsoen</li> <li>• Meer bestendig eiwit</li> <li>• Het toevoegen van vetten of oliën</li> <li>• Plantaardige antimicrobiële middelen</li> <li>• Voeradditieven</li> </ul>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>De verschillende genoemde strategieën verschillen sterk in de behaalde methaanreducerend effecten. Reductiepercentages van 10-12,5% worden gemeld (Tamminga <i>et al.</i> 2007).</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>De verschillende voedingsmaatregelen zijn in principe op elk melkveebedrijf toepasbaar.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Er zijn geen gegevens bekend over de kosteneffectiviteit van bovengenoemde strategieën.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Tamminga <i>et al.</i> (2007) noemt een heel aantal negatieve bijeffecten die afhangen van de gekozen reductiestrategie die te maken hebben met melksamenstelling, diergezondheid en uitstoot van andere broeikasgassen (N<sub>2</sub>O) en ammoniak.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>Het effect hangt niet alleen af van de gekozen maatregel maar ook van een reeks andere factoren. Reductiepotentieel is daarop gevoelig en het afbreukrisico groot. Wel noemt Tamminga <i>et al.</i> (2007) de vetzuursamenstelling de melk als een mogelijk onderdeel van een controlemechanisme op de effectiviteit van de gekozen maatregel.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Smink <i>et al.</i> 2003; Tamminga <i>et al.</i>, 2007</p>

## Mestopslagen

<p><b>Direct verwijderen van mest uit stal</b></p> <p><b>Beschrijving</b>  De emissiefactor van mest wordt bepaald door de concentratie organische stof, de methaanproductie per kg organische stof en de methaan conversiefactor (het aandeel werkelijk gevormde methaan als percentage van het theoretisch maximum). In formule: <math>EF = OS * Bo * MCF * 0,662</math> met:  EF = Emissie Factor (kg CH<sub>4</sub> per kg mest)  OS = Organische Stof (kg OS per kg mest)  Bo = CH<sub>4</sub> productie (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> per kg OS)  MCF = Methane Conversion Factor  0,662 = soortelijk gewicht van methaan (kg per m<sup>3</sup>)  Door de mest niet op te slaan in de stal maar direct uit de stal te verwijderen en naar een externe opslag te brengen wordt de emissie van methaan uit mest in de stal voorkomen. De vorming van methaan in de mest gaat wel door maar omdat de mest wordt geconcentreerd in een meststilo is het mestoppervlak kleiner en is het eenvoudiger om de gevormde methaan op te vangen en verder onschadelijk te maken of nuttig in te zetten.</p>
<p><b>Meetresultaten</b>  Huis in 't Veld en Monteny (2003) bepaalden de bijdrage van mest aan de methaanemissie uit natuurlijk geventileerde stallen op 58,4 kg CH<sub>4</sub> per m<sup>3</sup>. Dit is de maximale te vermijden methaanemissie wanneer geen mest in de stal wordt opgeslagen. Bij volledig opstallen van de dieren is het reductiepercentage daarmee ongeveer 31%.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b>  Deze optie is alleen goed toepasbaar bij nieuw te bouwen stallen. In bestaande stallen met kelders onder de roosters zal altijd een laagje mest blijven staan.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b>  Het verschil in kosten tussen een stal met en zonder opslag is erg afhankelijk van de grootte, de uitvoering en de grondsoort. De kosteneffectiviteit is daarom moeilijk vast te stellen.</p>
<p><b>Trade offs</b>  Het opslaan van de mest in een externe opslag biedt meer mogelijkheden de emissie de daar optreed te verlagen door zuivering van de lucht of het vergisten van de mest (zie daar).</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b>  De effectiviteit van de maatregel is enigszins afhankelijk van de frequentie waarmee de vloer geschoven wordt.</p>
<p><b>Bronnen</b>  Huis in 't Veld en Monteny, 2003</p>

<p><b>Afdekking mestopslagen</b></p>
<p><b>Beschrijving</b>  Mestopslagen moeten in het kader van het besluit mestbassins afgedekt worden ter voorkoming van ammoniakemissie. Deze opslag is niet gasdicht. Wanneer dat wel het geval zou zijn zou verwijdering van methaan en ammoniak uit lucht boven mestopslag veel effectiever zijn. Gasdicht afdekking is gebruikelijk bij mestopslagen die gebruik worden voor vergisting.</p>
<p><b>Meetresultaten</b>  De emissiefactor kan bij juiste uitvoering van de afdekking op 0 worden gesteld.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b>  De toepasbaarheid van een gasdichte afdekking van mestopslagen hangt af van het soort mestopslag (silo, foliebassin of mestzak). Over het algemeen zijn mestsilo's goed gasdicht af te sluiten. Foliebassins en mestzakken zijn van zichzelf als gasdicht of zouden dat moeten zijn.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b>  Kosten hangen af van de gekozen uitvoering van de gasdichte afdekking en de grootte van de mestopslag. Kosteneffectiviteit is daarom niet goed vast te stellen.</p>
<p><b>Trade offs</b>  Door de volledige afsluiting moet geïnvesteerd worden in veiligheidsvoorzieningen om gevaarlijke situaties i.v.m. ontploffingsgevaar te voorkomen.  Gasdichte afdekking van de mestopslagen maakt de methoden om methaan (en ammoniak) uit de lucht boven de mestopslag te verwijderen effectiever omdat minder methaan (en ammoniak) verloren gaat door lekkage van de afdekking.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b>  Afbreukrisico en gevoeligheid zijn laag.</p>
<p><b>Bronnen</b></p>

## Mestbewerking

<p><b>Mest- en covergisting</b></p>
<p><b>Beschrijving</b></p> <p>Mestvergisting is de omzetting van organische stof door bacteriën. Het is het proces dat zorgt voor de methaanemissie uit mest maar wordt nu gestimuleerd waardoor de vorming van methaan toeneemt. Omdat dit methaan opgevangen wordt en door verbranding omgezet in kooldioxide onder levering van energie is het netto effect positief. Perspectieven voor mest en covergisting zijn uitgebreid beschreven in Van Lent en Van Dooren (2001) en Kuikman <i>et al.</i>, 2000.</p>
<p><b>Meetresultaten</b></p> <p>In Kuikman <i>et al.</i>, (2000) is een potentiële emissiereductie berekend van 0,7 - 1,5 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten, als in Nederland 10 tot 25% van de beschikbare mest (7-18 Mton) met 50 - 100% van het beschikbare bermgras en GFT afval (ca. 1,8 – 3,7 Mton) wordt verwerkt in covergistingsinstallaties.</p> <p>Van Lent en Van Dooren (2001) berekenen een reductie van de methaanemissie bij melkvee van 43 en 52 kg CO<sub>2</sub>-equivalenten per m<sup>3</sup> vergiste mest bij respectievelijk beperkt weiden en summerfeeding. In een positiever scenario is de besparing nog groter. Wanneer ook de varkenshouderij betrokken wordt is een reductie op landelijk niveau in de uitstoot van broeikasgassen met 0,64 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten is mogelijk</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b></p> <p>Mest- en covergisting is niet op alle melkveebedrijven rendabel toe te passen. Zonder subsidie op duurzame energie is het alleen vanaf een bedrijfsomvang van meer dan ongeveer 500 koeien in combinatie met covergisting rendabel toe te passen. Er zijn slechte enkele melkveebedrijven van deze omvang in Nederland.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b></p> <p>Op bedrijven waar mestvergisting rendabel is toe te passen levert de reductie van methaan geld op. Van kosteneffectiviteit is daarmee geen sprake.</p>
<p><b>Trade offs</b></p> <p>Door het toepassen van covergisting kan het aantal transportbewegingen sterk toenemen. Door de afbraak van organische stof is het minerale stikstofgehalte hoger dan in onvergiste mest. Dit kan leiden tot hogere ammoniakemissie bij opslag en toediening van deze mest.</p> <p>Door de afbraak van organische stof worden er ook zorgen geuit voer de opbouw van organische stof in de bodem bij veelvuldig gebruik van vergiste drijfmest.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b></p> <p>De gevoeligheid ligt in de stimulering van de methaanvorming. De reductiemaatregel is gebaseerd op het opvangen van al het gevormde methaan en de omzetting daarvan in energie door verbranding. Wanneer niet alle methaan opgevangen wordt gaat het reducerende effect snel verloren.</p>
<p><b>Bronnen</b></p> <p>Van Lent en Van Dooren, 2001; Kuikman <i>et al.</i>, 2000</p>



<b>Hogere of lagere pH</b>
<p><b>Beschrijving</b> Methaanvormende bacteriën hebben een smal optimum wat betreft de zuurgraad. Verhoging of verlaging van de pH zal de methaanvorming remmen.</p>
<p><b>Meetresultaten</b> Er zijn geen meetresultaten bekend van deze reductieoptie.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b> Verhoging van de pH zou kunnen bereikt worden door de toevoeging van kalk. Het lijkt met meest geschikt dit of andere middelen voor pH verhoging in een externe mestopslag toe te passen.</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b> Er zijn geen gegevens bekend over de methaanreductie en kosten waardoor geen kosteneffectiviteit vastgesteld kan worden.</p>
<p><b>Trade offs</b> Door de verhoging van de pH ontstaat meer ammoniak met toenemende kans op een hogere ammoniakemissie. Verlaging van de pH echter leidt tot een vermindering van de ammoniakemissie (zie daar).</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b> Net als bij aanzuren zal bij het verhogen van de pH de effectiviteit van de reductieoptie gevoelig zijn voor een goede menging van de mest.</p>
<p><b>Bronnen</b> Hilhorst <i>et al.</i>, 2001</p>

<p><b>Lagere temperatuur</b></p>
<p><b>Beschrijving</b> De vorming van methaan in mest neemt af bij afnemende mesttemperatuur. Verlaging van de temperatuur verlaagt daarmee de emissiefactor.</p>
<p><b>Meetresultaten</b> Huis in 't Veld en Monteny hebben een relatie vastgesteld tussen de staltemperatuur en de methaanemissie (inclusief pensfermentatie). De emissiefactor daalde van 0,6 tot 0,4 kg CH<sub>4</sub> per dier per dag bij een verlaging van de staltemperatuur van 20 °C tot 5 °C.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b> De verlaging van de stal- en mesttemperatuur zou gecombineerd kunnen worden met die optie bij de bestrijding van de ammoniakemissie (zie aldaar).</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b> Door de hoge kosten van koeling van de mest of stal en de relatief lage daling van de emissie (alleen de methaanvorming in mest wordt beïnvloed) is de kosteneffectiviteit van deze maatregelen naar verwachting laag als die alleen voor methaan wordt toegepast. Koppeling aan de verlaging van de ammoniakemissie doet de effectiviteit stijgen.</p>
<p><b>Trade offs</b> Actieve koeling kost energie en draagt bij aan uitstoot van kooldioxide wanneer geen groene stroom gebruikt wordt.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b> Effectiviteit hangt af van een constante lage temperatuur.</p>
<p><b>Bronnen</b> Huis in 't Veld en Monteny, 2003</p>

<p><b>Verhitten van de mest</b></p>
<p><b>Beschrijving</b> Methaanvorming is een bacterieel proces. Bacteriën kunnen uitgeschakeld worden door de mest te verhitten tot meer dan 60 °C.</p>
<p><b>Meetresultaten</b> Er zijn geen specifieke meetresultaten bekend van deze optie. Het hygiëniseren van mest is echter een bekende techniek. Als al het bacterieleven gedood wordt is de emissie tot 0 gereduceerd. De kans op herbesmetting door bacteriën is echter groot.</p>
<p><b>Toepasbaarheid</b> Toepassing lijkt het meest geschikt in een externe installatie en is dan toepasbaar onafhankelijk van stal- of opslagsysteem</p>
<p><b>Kosten effectiviteit</b> De kosteneffectiviteit is waarschijnlijk laag omdat de kosten voor verhitten groot zijn en het methaanreducerend effect niet permanent.</p>
<p><b>Trade offs</b> Het verhitten van mest kost erg veel energie en leidt tot een hogere ammoniakuitstoot.</p>
<p><b>Afbreukrisico/gevoeligheid</b> Door enting met verse mest kan ook in de verhitte mest weer methaanvormende bacteriën ontstaan.</p>
<p><b>Bronnen</b> Hilhorst <i>et al.</i>, 2001</p>

## 5 Overzichtstabel

### 5.1 Reductieopties ammoniak

Reductieoptie	RAV nummer	Emissiefactor	Kosteneffectiviteit	Toepasbaarheid	Neveneffect	Gevoeligheid	Prioriteit verdere uitwerking
<i>Titel of nummer van reductieoptie</i>	<i>Indien aanwezig</i>	<i>Emissiefactor of gemeten emissiereductie kg NH<sub>3</sub>/dp/jaar<sup>2</sup></i>	<i>Inschatting van kosten/kg vermeden emissie<sup>3</sup></i>	<i>Toepasbaar in bestaande stallen nieuwbouw</i>	<i>Positieve of negatieve gevolgen</i>	<i>Gevoeligheid emissiereductie</i>	<i>Samenvattende score afnemende belangrijkheid</i>
<b>Huisvestingssysteem</b>							
Potstal (en overige strooiselsystemen)		13,9		Nieuwbouw	E		+
Grupstal <sup>1</sup>	BB 93.06.009	4,3		Nieuwbouw	D		-
Ligboxenstal		11,0/9,5					
Vermindering bevuild oppervlak				Nieuwbouw	D		-
<b>Ventilatie</b>							
Beperking luchthoeveelheid				Bestaand	C		-
Beperking luchtsnelheid				Bestaand			-
Splitsing ventilatie				Bestaand			
Luchtwasssing		80-90%		Nieuwbouw	B		++
Verbranding ventilatielucht				Nieuwbouw	B		
<b>Voeding</b>							
Beperking eiwitname				Bestaand			+
Beïnvloeding zuurgraad urine				Bestaand			+
<b>Vloeren</b>							
Roostervloer met hellende schijnvloer		23-47%		Nieuwbouw	A		-
Dichte vlakke vloer		0%		Nieuwbouw	A		-
Dichte hellende vloer met giergoot <sup>4</sup>	BB 93.03.003	8,6/7,5			A		-
Berg- en dalvloer <sup>4</sup>	BB 93.03.003/ D94.06.020v1	8,6/7,5			A		-
Sleuenvloer	BB 97.05.055	9,2/7,7		Nieuwbouw	A		-
Afsluiting roosterspleten		50%					-
Beperking urease activiteit		?		Bestaand			++
Stalen roosters		52%					-

Reductieoptie	RAV nummer	Emissiefactor	Kosteneffectiviteit	Toepasbaarheid	Neveneffect	Gevoeligheid	Prioriteit verdere uitwerking
<i>Titel of nummer van reductieoptie</i>	<i>Indien aanwezig</i>	<i>Emissiefactor of gemeten emissiereductie kg NH<sub>3</sub>/dp/jaar<sup>2</sup></i>	<i>Inschatting van kosten/kg vermeden emissie<sup>3</sup></i>	<i>Toepasbaar in bestaande stallen nieuwbouw</i>	<i>Positieve of negatieve gevolgen</i>	<i>Gevoeligheid emissiereductie</i>	<i>Samenvattende score afnemende belangrijkheid</i>
<b>Vloerafwerking</b>							
Epoxy of coating op roosters		13%		Bestaand	A		-
Epoxy of coating op dichte hellende vloer		23-50%			A		-
Rubber		?		Bestaand			++
Gietasfalt							+
<b>Spoelsystemen</b>							
Spoelen roostervloer		8,6/7,5		Bestaand	G		-
Spoelen hellende dichte vloer		8,6/7,5		Nieuwbouw	G		-
Spoelen hellende dichte vloer <sup>5</sup>	BB 94.02.15v1	7,8/6,8		Nieuwbouw	G		-
Spoelen roostervloer met water		13%		Bestaand	G		-
Spoelen roostervloer met formaline		40-50%		Bestaand	G		-
Spoelen hellende dichte vloer met formaline		87%			G		-
<b>Mestopslagen</b>							
Direct uit stal verwijderen		50%		Nieuwbouw			+
Geen mestopslag in stal		50%		Nieuwbouw			++
Afdekken				Bestaand			-
Stro		70%					-
Bouwkundig		48%					-
Vloeistof							-
Drijvend		76-81%					-
i.c.m. luchtzuivering							++
Photo-katalytische filtering i.c.m. afdekking				Bestaand			+
<b>Mestbewerking</b>							
Snelle droging <sup>6</sup>				Bestaand	F		+
Scheiding				Bestaand			+
Aanzuren		70%		Bestaand			-
Beluchten				Bestaand			-
Koelen				Bestaand			-
Toevoegingen				Bestaand			-

Reductieoptie	RAV nummer	Emissiefactor	Kosteneffectiviteit	Toepasbaarheid	Neveneffect	Gevoeligheid	Prioriteit verdere uitwerking
<i>Titel of nummer van reductieoptie</i>	<i>Indien aanwezig</i>	<i>Emissiefactor of gemeten emissiereductie kg NH<sub>3</sub>/dp/jaar<sup>2</sup></i>	<i>Inschatting van kosten/kg vermeden emissie<sup>3</sup></i>	<i>Toepasbaar in bestaande stallen nieuwbouw</i>	<i>Positieve of negatieve gevolgen</i>	<i>Gevoeligheid emissiereductie</i>	<i>Samenvattende score afnemende belangrijkheid</i>
Verdunnen				Bestaand			-
Adsorptie door kleimineralen				Bestaand			

<sup>1</sup> Met emitterend mestoppervlak van grup en kelder maximaal 1,2 m<sup>2</sup> per koe.

<sup>2</sup> Permanent opstallen/beweiden

<sup>3</sup> ++: zeer gunstig; +: gunstig; -: ongunstig; - -: zeer ongunstig

<sup>4</sup> Maximaal 3 m<sup>2</sup> mestbesmeurd oppervlak per koe

<sup>5</sup> Eénzijdig hellend met maximaal 3 m<sup>2</sup> mestbesmeurd oppervlak per koe

<sup>6</sup> Geforceerd waarbij drogingslucht wordt gereinigd

A: Welzijn van dieren is in gedrang door verminderde begaanbaarheid van de vloer

B: In combinatie met omschakeling naar mechanische ventilatie is dit een dure optie die leidt tot hogere energiekosten en gepaard gaat met extra CO<sub>2</sub> uitstoot

C: Voldoende ventilatie voor afvoer van warmte moet gewaarborgd zijn.

D: Welzijn van dieren is in gedrang door verminderde bewegingsvrijheid o.a. door smallere loopgangen.

E: Hogere methaanemissies waarschijnlijk.

F: Geforceerde droging vraagt veel energie. Combinatie met mestvergisting kan die leveren.

G: Toenemend mestvolume

## 5.2 Reductieopties methaan

Reductieoptie	RAV nummer	Emissiefactor	Kosteneffectiviteit	Toepasbaarheid	Neveneffect	Gevoeligheid	Prioriteit verdere uitwerking
<i>Titel of nummer van reductieoptie</i>	<i>Indien aanwezig</i>	<i>Emissiefactor of gemeten emissiereductie kg CH<sub>4</sub>/ton mest</i>	<i>Inschatting van kosten/ton vermeden emissie</i>	<i>Toepasbaar in bestaande stallen of nieuwbouw</i>	<i>Positieve of negatieve gevolgen</i>	<i>Gevoeligheid emissiereductie</i>	<i>Samenvattende score</i>
<b>Huisvestingssysteem</b>							
Potstal (en overige strooiselsystemen)	n.v.t.	1,3 kg/dp per jaar					+
Grupstal	n.v.t.						-
Ligboxenstal met mestopslag	n.v.t.	1,420					-
<b>Ventilatie</b>							
Biofilter	n.v.t.	46,0 <sup>3</sup>	€ 110 <sup>4</sup>				+ <sup>5</sup>
Affakkelen	n.v.t.	83,5 <sup>2</sup>	€ 34 <sup>4</sup>				+ <sup>5</sup>
<b>Voeding</b>							
Aanpassing veevoer	n.v.t.						++
<b>Mestopslagen</b>							
Direct verwijderen van mest	n.v.t.	0,215					+
Geen mestopslag in stal	n.v.t.	0,092					++
Korstvorming op mestopslag							-
<b>Mestbewerking</b>							
Vergisting van mest met co-producten	n.v.t.		€-1				++
Vergisting van mest (mesofiel)		0,471 <sup>1</sup>	€-13				++
Koude vergisting van mest							+
Hogere pH		1,312					-

<sup>1</sup> Bij een methaanlekage van 5%

<sup>2</sup> CO<sub>2</sub>-equivalenten per dierplaats per jaar

<sup>3</sup> Bij 50% emissiereductie

<sup>4</sup> Per ton CO<sub>2</sub> equivalent

<sup>5</sup> Alleen in combinatie met NH<sub>3</sub> vermindering bij splitsing van ventilatiestromen.

## 6 Conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek

De rundveehouderij is in Nederland één van de grootste bronnen van ammoniak- en methaanemissie. Vooral vanwege de overwegend natuurlijke ventilatie, zijn integrale oplossingen voor deze emissies en die van geur en stof uit stallen beperkt. In het verleden zijn nieuwe stalvloeren, spoelsystemen en aanzuuropties onderzocht en ontwikkeld, vooral vanuit het oogpunt van reductie van de ammoniakemissie. Beleidsmatig gezien is voor ammoniak voorlopig gekozen voor een afdekking van de mestopslagen en een aanpak via het zogenaamde voerspoor, waarbij via een afspraak het melkureumgehalte naar een bepaald niveau moet dalen (20 mg/100 ml melk). Slechts een deel van de melkveebedrijven lijkt hierin te gaan slagen. Bovendien zijn er aanwijzingen dat veranderende omstandigheden in de bedrijfsvoering op melkveebedrijven (beperking weidegang, meer ventilatie, grotere stalvloeroppervlakte per dier) leiden tot hogere ammoniakemissies dan in de emissieramingen wordt verondersteld. Op langere termijn wordt in de EU gekoerst op nog lagere emissieplafonds voor o.a. Nederland. Verdergaande maatregelen in de melkveehouderij lijken tegen deze achtergrond onvermijdelijk.

Ook maatregelen tegen de verdere opwarming van de aarde (als gevolg van broeikasgassen) komen internationaal steeds hoger op de politieke agenda. Aandacht voor vermindering van de methaanuitstoot uit de melkveehouderij - naast vermindering van de ammoniakemissie - is daarom logisch.

Een andere belangrijke ontwikkeling in de melkveehouderij vindt plaats op het gebied van huisvesting. Sinds het begin van de jaren zeventig toen de eerste ligboxenstellen verschenen is deze vorm van huisvesting uitgegroeid tot het standaard huisvestingssysteem voor melkvee in Nederland. Het onderzoek naar vermindering van ammoniak- en methaanemissie heeft zich dan ook voornamelijk op dit huisvestingssysteem geconcentreerd. Vaak ontstonden echter bij systemen om de ammoniakemissie te verminderen knelpunten op het gebied van dierenwelzijn. Dit is één van de redenen waarom emissiearme systemen niet op grote schaal zijn toegepast in de melkveehouderij. Ook zonder emissiebeperkende maatregelen heeft de ligboxenstal echter een aantal nadelen ten aanzien van dierenwelzijn. Deze worden de laatste jaren onder andere duidelijker zichtbaar door de afnemende weidegang van de Nederlandse melkveestapel. Het harde, vaak onvoldoende stroeve oppervlak leidt tot klauw- en locomotieproblemen, onvoldoende zachte ligboxbedekking leidt tot gewrichtsaandoeningen, ligboxafscheidingsveroorzaken huidbeschadigingen en onvoldoende bewegingsruimte beperkt het natuurlijk gedrag. Deze knelpunten zijn aanleiding geweest voor verschillende initiatieven rond de ontwikkeling van een nieuw huisvesting- of houderijsysteem voor melkvee.

Op basis van deze ontwikkelingen komen twee ontwikkelingsrichtingen naar voren: die van verbetering van het huidige huisvestingssysteem (ligboxen) en die van de ontwikkeling van een nieuw huisvestingssysteem (zonder ligboxen). De eerste categorie speelt zich op de korte termijn af terwijl het tweede type initiatieven gericht is op de wat verdere toekomst.

Deze indeling is ook toepasbaar op de invulling van vervolgonderzoek van het project emissiereducerende maatregelen melkveestallen. Daar komt bij dat de projecten rond nieuwe huisvestingssystemen vaak verbetering van diergezondheid en -welzijn als eerste prioriteit hebben, maar dat deze systemen niet moeten leiden tot een verhoging van de ammoniak- of methaanemissie. Het is dus van belang deze ontwikkelingen te volgen en tegelijkertijd deze systemen te onderzoeken naar de (te verwachten) emissies.

Daarom wordt voorgesteld in het verdere onderzoek naar de vermindering van de ammoniakemissie uit huisvesting voor melkvee twee sporen te ontwikkelen:

### *Spoor 1: Verbetering huidige huisvestingssystemen.*

Te denken valt aan:

- Nieuw type vloeren of aanpassingen daarop
- Het gebruik van ureaseremmers
- Afzuigvarianten waarbij kelderlucht wordt afgezogen en gezuiverd
- Beoordeling van mogelijke toepassing in de melkveehouderij van succesvolle ontwikkelingen en emissiebeperkende maatregelen uit de varkenshouderij

### *Spoor 2. Onderzoek naar ontwikkelingen van huisvestingssystemen*

Een belangrijke nieuwe ontwikkelrichting voor de huisvesting van melkvee vormt de boxloze huisvesting, waarbij de dieren de beschikking hebben over een ruim, gecombineerd lig- en loopoppervlak, voorzien van een zachte, al dan niet vochtdoorlatende of adsorberende toplaag. Over de keuze van de toplaag is echter nog veel discussie gaande. Genoemd worden zand, stro, zaagsel, houtsnippers, gedroogde mest, compost, of kunststof. Ook in het buitenland vinden op dit gebied ontwikkelingen plaats. In Israël bestaan stallen met gedroogde mest als strooisel,



in Zuid-Korea wordt compost gebruik, in de Verenigde Staten vormt zaagsel gemengd met feces dat in de stal composteert het ligbed van de dieren en zijn ook ervaringen met zand opgedaan. De eerste ervaringen zijn bekend en wijzen op een positief effect op diergezondheid en dierenwelzijn. Milieu-informatie (met name emissies van  $\text{NH}_3$  en broeikasgassen) ontbreekt echter nog volledig. De grootte van het effect en de invloedsfactoren zijn nog onbekend. Voor vervolgonderzoek valt te denken aan:

- Verzamelen van ervaringen en gegevens uit buitenland en van andere sectoren.
- Modelberekeningen. Voordat een dergelijk systeem op (semi)praktijkschaal wordt ingericht is het zinvol om modelberekeningen te doen om de mate van emissievermindering en effect van bovengenoemde factoren te onderzoeken. Op basis van fysische eigenschappen van de toplaag, de hoeveelheid mest en urine, gegevens over luchttemperatuur, -vochtigheid en -beweging en kennis over de processen die plaatsvinden, zal een inschatting worden gemaakt wat verwacht kan worden van de verschillende soorten bodems. Parallel hieraan zullen containerexperimenten met de verschillende bodems worden uitgevoerd om een beeld te krijgen van de gasvormige emissies die vrijkomen.
- Schaalexperimenten. Bij voldoende perspectief worden daarop schaalexperimenten in de praktijk uitgevoerd.

## Literatuur

- Aarnink, A.J.A., H.H. Ellen, J.F.M. Huijsmans, M.C.J. Smits, D.A.J. Starmans (2007) Emission abatement in practical situations In: D.A.J. Starmans en K.W. van der Hoek (eds.) Ammonia the case of the Netherlands, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 201 p.
- Aarnink, A.J.A., M.W.A. Verstegen (2007) Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production, *Livestock Science* 109 (1-3), pp.: 194-203.
- Amstel, A.R. van, R.J. Swart, M.S. Krol, J.P. Beck, A.F. Bouwman, K.W. van der Hoek (1993) Methane the other greenhouse gas. Research and policy in the Netherlands. RIVM Rapport 481507001, RIVM Bilthoven, 192 p.
- Blanken, K en J. van Lent (2001) Lagere ammoniakemissie bij stalen roosters, *Praktijkonderzoek Veehouderij* april 2001, pp. 29-30.
- Bleijenberg, R.; W.J. de Boer; W. Kroodsmas (1994a) Beperking van de ammoniakemissie uit een ligboxenstal door het spoelen van roosters, het aanzuren van mest en het schuiven van een schijnvloer. IMAG-DLO Rapport, IMAG-DLO, Wageningen.
- Bleijenberg, R.; W.J. de Boer; W. Kroodsmas (1994b) Beperking van de ammoniakemissie uit een ligboxenstal door het spoelen van betonvloeren met een formalineoplossing, IMAG-DLO Rapport 94-33, IMAG-DLO, Wageningen.
- Bode, M.J.C. de (1990a) Emissie van ammoniak en geur uit meststilo's en de vermindering van emissie door afdekking: deel 2 Rundermengmest, IMAG-nota 465, IMAG-DLO, Wageningen, 42 p.
- Bode, M.J.C. de (1990b) Vermindering van ammoniakemissie door korstvorming op rundveemengmest, IMAG-nota 462, IMAG-DLO, Wageningen, 41 p.
- Boer, W.J., A. Keen, G.J. Monteny (1994) Het effect van spoelen op de ammoniakemissie uit melkveestallen; het schatten van behandelingseffecten en nauwkeurigheden door tijdreeksanalyse. IMAG-DLO Rapport 94-6, IMAG-DLO, Wageningen 36 p.
- Bokma, S. (2007) Persoonlijke mededeling.
- Braam, C.R. en C.J. van den Hoorn (1996) Ammoniakemissiearme betonnen stalvloeren. Resultaten van experimenteel en toegepast onderzoek. IMAG-DLO rapport 1996-12, IMAG-DLO, Wageningen, 207 p.
- Brandes, L.J., P.G. Ruysenaars, H.H.J. Vreuls P.W.H.G. Coenen, K. Baas, G. van den Berghe, G.J. van den Born, B. Guis, A. Hoen, R. te Molder, D.S. Nijdam, J.G.J. Olivier, C.J. Peek and M.W. van Schijndel (2007) Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2005 National Inventory Report 2007 Milieu- en Natuur Planbureau Report 500080 006
- Cahn, T.T., A.J.A. Aarnink, Z. Mroz, A.W. Jongbloed, J.W. Schrama, M.W.A. Verstegen (1998). Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilisation from slurry. *Livestock Production Science* 56 (1) pp.: 1-13
- CBS (2007) CBS gegevens uit Statline ([www.cbs.nl](http://www.cbs.nl))
- Corré, W.J., (2002) Agricultural land use and emissions of methane and nitrous oxide in Europe. Plant Research International Rapport, Plant Research International, Wageningen
- Demmers, T.G.M. (1991) Opslag van met salpeterzuur aangezuurde mest: een mogelijkheid voor de reductie van de ammoniakemissie? IMAG nota V-91-15, IMAG-DLO, Wageningen, 11p.
- Derikx, P.J.L., A.J.A. Aarnink, P. Hoeksma, H.C. Willers (1995) Vermindering van ammoniakemissie uit mest door een vloeibare afdeklaag, IMAG-rapport 95-8, IMAG-DLO, Wageningen, 58 p.
- Donker, R. A. Emissiebeperking bij vloersystemen, *Praktijkonderzoek* 1990 (3), *Praktijkonderzoek, Rundvee, Schapen en Paarden (PR)*, Lelystad, pp. 18-19
- Dooren, H.J.C. van (2007) Vermindering van ammoniakemissie uit melkveestallen met behoud van dierenwelzijn, *Interne Notitie Animal Sciences Group*, Lelystad.
- Duinkerken, G., G. André, M.C.J. Smits, G.J. Monteny, K. Blanken, M.J.M. Wagemans, L.B.J. Sebek (2003) Relatie tussen voeding en ammoniakemissie vanuit de melkveestal, *PraktijkRapport Rundvee* 25, *Praktijkonderzoek Veehouderij*, Lelystad, 66 p.
- Elzing, A.; D. Swierstra, G.H. Uenk; W. Kroodsmas (1992) Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een rundveestal: de invloed van vloervarianten. IMAG-DLO rapport 92-10, IMAG-DLO, Wageningen, 18 p.
- Espagnol, S; M. Hassouna; P. Robin; P. Lévassieur; C. Vallet (2006) Incidence d'une couverture photocatalytique au stockage de lisier porcin sur les émissions gazeuses (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>), *Journées Recherche Porcine*, 38, pp.:27-34.
- Groenestein, C.M. en H. Montsma (1991) *Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen: grupstal voor melkvee*. DLO-rapport 91-1002, Wageningen, 14 pp.
- Groenestein, C.M. en B. Reitsma (1993) *Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen X. Potstal voor melkvee*. IMAG-DLO Rapport 93-1005, IMAG-DLO, Wageningen, 15 p.
- Groenestein, C.M. en J.W.H. Huis in 't Veld (1994) *Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XV: potstal voor zoogkoeien*, IMAG-DLO Rapport 94-1006, IMAG-DLO, Wageningen.

- Groot Koerkamp, P.W.G., J.H.M. Metz, G.H. Uenk, V.R. Phillips, M.R. Holden, R.W. Sneath, J.L. Short, R.P. White, J. Hartung, J. Sedorf, M. Schröder, K.H. Linkert, S. Pederson, H. Takai, J.O. Johnsen en C.M. Wathes, (1998) Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe, *Journal of Agricultural Engineering Research*. 70 (1). pp. 79-85
- Haan, M.H.A., de; N.W.M. Ogink (1994) Naar veehouderij en milieu in balans: 10 jaar FOMA onderzoek, Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 19 (Rundvee), Wageningen, 164 p.
- Haan, M.H.A., A.G. Evers, G. Holshof, K.Blanken (2003) Vier jaar primaire mestscheiding op het lagekostenbedrijf, Praktijkonderzoek Veehouderij, PraktijkRapport Rundvee 19, Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad, 63 p.
- Hansen, C.F., G. Sørensen, M. Lyngbye (2007) Reduced diet crude protein level, benzoic acid and inulin reduced ammonia, but failed to influence odour emission from finishing pigs. *Livestock Science* 109 (1-3) pp.: 228-231
- Hartog, L.A. den en J.A.M. Voermans (1994) Naar veehouderij en milieu in balans: 10 jaar FOMA onderzoek, Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 19 (Varkens), Wageningen, 106 p.
- HBRM (1991) Handleiding bij de bouwtechnische richtlijnen mestbassins, IMAG-DLO/CUR-voorschriftencommissie 29 "Mestbassins", IMAG-DLO rapport 91-13, CUR rapport 91-10, IMAG-DLO/CUR, Wageningen/Gouda.
- Hendriks, J.G.L. en M.G.M. Vrielink (1996) Microbieel aanzuren van vleesvarkensmest, Proefverslag P1.150, Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen, 24 p.
- Hilhorst, M.A., G.J. Monteny, P.van Gijsel, H.J.C. van Dooren, A.J.H. Lent (2001) Duurzame energie en vermindering methaanemissie: emissiearme opslag, IMAG Rapport 2001-06, IMAG-DLO, Wageningen, 55 p.
- Hoeksma, P., A.J. van den Berg (1993) Geur- en ammoniakemissie tijdens het indampen van mest bij de HEPAQ-milieustal, IMAG-DLO rapport 93-35, IMAG-DLO, Wageningen, 27p.
- Huis in 't Veld, J.W.H., W. Kroodsmas, W.J. de Boer (1994a) Vermindering ammoniakemissie uit een ligboxenstal door spoelen van een hellende betonvloer, IMAG-DLO rapport 94-4, IMAG-DLO, Wageningen, 24 p.
- Huis in 't Veld, J.W.H., W.J. de Boer, W. Kroodsmas (1994b) Ammoniakemissiereductie door spoelen van een hellende, gecoate betonvloer in een rundveestal. IMAG-DLO rapport 94-7, IMAG-DLO, Wageningen, 25 p.
- Huis in 't Veld, J.W.H. en R. Scholten (1998) Praktijkonderzoek naar ammoniakemissie van stallen XXXII: natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkvee, DLO-rapport 98-1006, Wageningen.
- Huis in 't Veld, J.W.H., G.J. Monteny, R. Scholten (2001) Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVIII: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkvee; zomerperiode, IMAG-Rapport 2001-03 Wageningen.
- Huis in 't Veld, J.W.H. en G.J. Monteny (2003) Methaanemissie uit natuurlijk geventileerde melkveestallen. IMAG-DLO rapport 2003-1, IMAG-DLO, Wageningen, 42 p.
- Infomil (2007) [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl)
- Kamp, A. van der; P.P.H. Kant, A.J.H. van Lent (1993) Bedrijfseconomische en milieutechnische gevolgen van emissiearme bedrijfssystemen op melkveebedrijven, PR-Rapport 149, Praktijkonderzoek Rundvee Schapen en Paarden, Lelystad, 194 p.
- Kant, P.P.H.; M.C. Verboon; J.W.H. Huis in 't Veld (1992) Ammoniakemissiemetingen met de lindvalldoos. Inventarisatie van de metingen op de Waiboerhoeve in 1981-1991, PR-Rapport 139, Praktijkonderzoek Rundvee Schapen en Paarden, Lelystad 48 pp.
- Kant, P.P.H. en N. Middelkoop (1994) Afwerklaag op een hellende vloer vermindert ammoniakemissie. Praktijkonderzoek 94-1, PR, Lelystad pp. 15-19.
- Kant, P.P.H. en C.J. Jagtenberg (1995) Ammoniakemissie bij melkvee na spoelen roosters, PR-Rapport 98, Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij (PR), Lelystad, 27 p.
- Kant, P.P.H. (1995) Aanleg hellende vloer van gietasfalt, Praktijkonderzoek 8 (4), pp.: 16-17
- Kant, P.P.H. (1996) Reductie ammoniakemissie door stalen roostervloeren, Publicatie 110, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad, 25 p.
- Kant, P., K. Blanken, J. van Lent (1998) Geen lagere ammoniakemissie gemeten bij Euromestmix, Praktijkonderzoek 11 (3), pp.: 13-15
- Korevaar, H., K.W. van der Hoek, P. Hofschreuder (1993) De strokorst nader bekeken. Rapportage van de commissie van deskundigen onderzoek strokost op mestopslagen met rundermest, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 21 p..
- Kroodsmas, W., J.W. van der Wind, M.C.J. Smits (1994) Beperking zuurverbruik door aanpassing voersamenstelling en pH-niveau van aangezuurde mest, IMAG-DLO Nota p94-49, IMAG-DLO, Wageningen, 11p.
- Kuikman, P.J., M. Buiten, J. Dolfing (2000) Perspectieven van co-vergisting voor beperking van emissies van broeikasgassen uit de landbouw in Nederland, Alterra Rapport 210, Alterra, Wageningen, 121 p.
- Leinker, M., A. Reinhart-Hanisch, E. von Borrel, E. Hartung (2007) Application of urease inhibitors in dairy facilities to reduce ammonia volatilization, In: Monteny, G.J. en E. Hartung (eds) Ammonia emissions in agriculture, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, pp.: 105-107

- Lent, A.J.H. van, (1995) Door aanzuren 70% minder ammoniakemissie, Praktijkonderzoek 8 (3), pp.: 10-13.
- Lent, A.J.H. van, R.J.M. Schils, Tj. Boxem, J. Zonderland en M.C. Verboon (1995), Aanzuren mest in stal en silo, Rundvee rapport 156, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad, 133 p.
- Lent, A.J.H. van en H.J.C. van Dooren (2001) Perspectieven mestvergisting op Nederlandse melkvee- en varkensbedrijven, PV-Rapport 194, Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad, 74 p.
- Leussinck, H. (2005) Meer bewegingsvrijheid voor dieren, Agri-Monitor, LEI, Wageningen-UR
- Meer, H.G. van der (1991) Stikstofbenutting en -verliezen van gras- en maisland, DLO-reeks Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij (10), Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen, 134 p.
- Melse, R.W. (2003) Biologisch filter voor de verwijdering van methaan uit lucht van stallen en mestopslagen, A&F Rapport 2003-16, Agrotechnology and Food Innovations, Wageningen, 188 p.
- Melse, R.W. en H.C. Willers (2004) Toepassing van luchtbehandelingstechnieken binnen de intensieve veehouderij. Fase 1: Technieken en kosten, A&F-rapport 29, Agrotechnology and Food Innovations, Wageningen, 46 p.
- Metz, J.H.M., N.W.M. Ogink, M.C.J. Smits (1995) Research on housing systems and manure treatment to reduce ammonia emission in dairy husbandry. In: W. Luten, H. Snoek, S. Schukking, M.C. Verboon (eds.) Applied Research for sustainable dairy farming, Research Station fo Cattle, Sheep and Horse husbandry (PR), Lelystad p. 36-39.
- MNP (2007) Milieu- en Natuurplanbureau, Milieu- en Natuurcompendium, [www.milieuennatuurcompendium.nl](http://www.milieuennatuurcompendium.nl)
- Monteny, G.J. (2000) Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Thesis Wageningen University, Wageningen, 160 p.
- Monteny, G.J., J.W.H. Huis in 't Veld, G. van Duinkerken, G. André, F. van der Schans (2001) Naar een jaarrondemissie van ammoniak uit melkveestallen. IMAG, PV, CLM. <http://www.asg.wur.nl/NR/rdonlyres/CA2F52BF-C3AE-44EC-8128-5A1842E078DB/35865/Montenyaarrondemissie.pdf>
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't Veld (2005) Onderzoek naar de emissies van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee I: Stal, A&F rapport 324, Agrotechnology and Food Innovations, Wageningen, 60 pp.
- Oosthoek, J. (1993) Ammoniakemissiemetingen aan silo's met en zonder strokorst, IMAG-nota P93-7, IMAG-DLO, Wageningen, 5p.
- Oudendag, D.N.A. en P.J. Kuikman (2003) Effecten van extensivering van de melkveehouderij op de emissies van broeikasgassen Alterra rapport 649, Alterra, Wageningen
- RAV (2002) Regeling ammoniak en veehouderij, Ministerie van VROM, Den Haag. Via: [wetten.overheid.nl](http://wetten.overheid.nl)
- Reith, J.H., R.H. Wijffelds, H. Barten (2003) Bio-methane & Bio-hydrogen. Status and perspectives of biological methane and hydrogen production, NOVEM, Utrecht, 167 p.
- Ruis-Heutinck, L.F.M., M.C.J. Smits, A.C. Smits, P.P.H. Kant, J.J. Heeres-van der Tol (1999) Vloertype en oppervlakte bij vleesstieren. Effect op gedrag, gezondheid, milieu en technische presentaties, PR Publicatie 140, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad.
- Sanders, W.T.M. (2001) Anaerobic hydrolysis during digestion of complex substrates, PhD-Thesis, Wageningen University, Wageningen, 101p.
- Šebek, L.B.J., R.L.M. Schils (2006) Verlaging van methaan- en lachgasemissies uit de Nederlandse Melkveehouderij, Animal Sciences Group Rapport 16, Animal Sciences Group, Lelystad, 54 p.
- Smink, W., K.D. Bos, A.F. Fitié, L.J. van der Kolk, W.K.J. Rijm, G. Roelofs, G.A.M. van den Broek (2003) Methaanreductie melkvee, Feed Innovative Services, Aarle-Rixtel, 82 p.
- Smits, M.J.C., R.W. Melse, A.C. Smits, N.W.M. Ogink (2005). Stallen. Quick scan van opties voor vermindering van ammoniak- en geuremissie uit vleeskalverstallen in de Agrarische Enclave Uddel Elspeet. Rapport 509, Agrotechnology&Food Innovations BV, Wageningen, 54 p.
- Smits, M.C.J. en J.W.H. Huis in 't Veld (2006) Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien&Kansen-bedrijven en De Marke. Resultaten van diverse korte meetsessies. K&K-Rapport 35, Animal Sciences Group, Wageningen-UR Lelystad. 28 p.
- Smits, M.C.J. (2007) Persoonlijke mededeling.
- Somers, J.G.C.J., W. G. P. Schouten, K. Frankena, E. N. Noordhuizen-Stassen, J. H. M. Metz (2005) Development of claw traits and claw lesions in dairy cows kept on different floor systems, Journal of Dairy Sciences 88 (1) pp.: 110-120.
- Sonneveld, M.P.W., J. Bouma (eds) (2005) Nutrientmanagement op het melkveebedrijf van familie Spruit. Studie naar bedrijfsvoering en milieukwaliteit. Syntheserapport. Wageningen-UR Rapport 2005-049, Wageningen, 60 p.
- Swierstra, D., R. Bleijenberg, M.C.J. Smits (1994) Ammoniakemissie en enkele fysische eigenschappen van een dichte vloer met een gietasfaltdeklaag in een ligboxenstal voor rundvee, IMAG-DLO nota P94-86, IMAG-DLO, Wageningen, 14 p.

- Swierstra, D.; J.W.H. Huis in 't Veld; W. Kroodsmā; M.C.J. Smits (1994) Ammoniakemissie en stroefheid van roostervloeren en dichte vloeren in ligboxstallen voor rundvee, IMAG-DLO rapport 93-12, IMAG-DLO, Wageningen, 26 p.
- Swierstra, D., C.R. Braam, M.C.J. Smits (2001) Grooved floor system for cattle housing; ammonia emission reduction and good slip resistance, Applied Engineering in Agriculture 17 (1) pp.:85-90
- Tamminga, S, A. Bannink, J. Dijkstra, R. Zom (2007) Feeding strategies to reduce methane loss in cattle, Report 34, Animal Sciences Group, Wageningen-UR, Lelystad. 44 p.
- Verboon, M.C., F. Mandersloot en H. Gunnink (1992) Strokorst in mestsilos, PR-Publicatie 77, Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Lelystad, 17p.
- Verdoes, N. en T. de Haan (1990) Naar stallen met een beperkte ammoniakuitstoot. Deelrapport varkens. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 8c, Stuurgroep Emissie-arme huisvestingssystemen, Werkgroep varkens, Wageningen, 106 p.
- Vokey, F.J., C.L.Guard, H.N. Erb, D.M. Galton (2001) Effects of alley and stall surfaces on indices of claw and leg health in dairy cattle housed in free-stall barn. Journal of Dairy Science 84 (12) pp.: 2686-2699.
- VROM (1990) Besluit Mestbassins [www.overheid.nl](http://www.overheid.nl)
- VROM (2003) Erop of eronder. Uitvoeringsnotitie emissieplafonds verzuring en grootschalige luchtverontreiniging 2003. [http://www.vrom.nl/get.asp?file=docs/milieu/uitvoeringsnotitie\\_emissieplafonds\\_dec2003pdf.pdf](http://www.vrom.nl/get.asp?file=docs/milieu/uitvoeringsnotitie_emissieplafonds_dec2003pdf.pdf)
- Westreenen, S., W. Kroodsmā, J.W.H. Huis in 't Veld (1992) Vermindering van ammoniakemissie uit ligboxenstallen door aanzuren van mest. Deel 1, IMAG-DLO Nota 92-6, IMAG-DLO, Wageningen, 57 p.
- Willers, H.C., P.J.L. Derikx, P.J. W ten Have, T.K. Vijn (1996) Emission of ammonia and Nitrous oxide from aerobic treatment of veal calf slurry, Journal of Agricultural Engineering Sciences (63) pp.: 345-352