



Maatregelen ter vermindering van de ammoniakemissie uit de
melkveehouderij: indicatieve beoordelingen van vloer- en keldermaatregelen

Hendrik Jan van Dooren
Julio Mosquera



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Maatregelen ter vermindering van de ammoniakemissie uit de melkveehouderij: indicatieve beoordelingen van vloer- en keldermaatregelen

Hendrik Jan van Dooren
Julio Mosquera

Wageningen UR Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Mest, Milieu en Klimaat (projectnummer BO-20-004-022-ASG-LR27-32)

Wageningen UR Livestock Research
Wageningen, februari 2016

Livestock Research Rapport 915

Dooren, H.J.C. van. J. Mosquera, 2016. *Maatregelen ter vermindering van de ammoniakemissie uit de melkveehouderij: indicatieve beoordelingen van vloer- en keldermaatregelen*; Wageningen, Wageningen UR Livestock Research, Livestock Research Rapport 915.

Samenvatting

Naast de beschikbare reductieopties in de vorm van emissiearme huisvestingssystemen, zoals opgenomen in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav), bestaan er diverse, soms aanvullende, technische mogelijkheden om de ammoniakemissie uit melkveestallen (verder) te reduceren. Dit rapport komt daarmee tegemoet aan de behoefte aan een indicatieve beoordeling van een aantal van deze technieken. Als aanbeveling wordt meegegeven om de volgende maatregelen op onderdelen verder te onderzoeken:

- de effectiviteit van flappen en kleppen van (rooster)vloeren op langere termijn
- het effect van schuiffrequentie en schuifaanpassingen op de ammoniakemissie
- het effect van spoelen van vloeren en verdunnen van mest op de ammoniakemissie.

Summary

Ammonia emission reducing housing systems are listed in the 'Regeling ammoniak en veehouderij (Rav)'. Beside these list of around 30 housing systems a divers pallet of additional technical options to further reduce ammonia emission from housing is available. To allocate limited resources for research the ministry of economic affair asked for an assessment and selection of these available additional housing measures. As recommendation for further development toward implementation in practice the following measures are prioritized:

- Adjusted slatted floor and the effectiveness on the long term of valves preventing air exchange between pits and rest of the housing.
- Optimized scraper and the effect on scraping frequency and the use of other materials
- Use of water for dilution and cleaning of the floor.

© 2016 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wageningenUR.nl/livestockresearch. Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

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

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



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

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
	Summary	9
1	Inleiding	11
2	Ammoniakemissie uit stallen	12
3	Aangepaste roostervloer	14
	3.1 Algemene beschrijving en werkingsprincipe	14
	3.2 Beschikbare gegevens	14
	3.3 Praktijkimplementatie	16
	3.4 Conclusies en aanbevelingen	16
4	Optimalisatie mestschuif	17
	4.1 Algemene beschrijving en werkingsprincipe	17
	4.2 Beschikbare gegevens	17
	4.3 Praktijkimplementatie	17
	4.4 Conclusies en aanbevelingen	18
5	Koeling van mest	19
	5.1 Algemene beschrijving en werkingsprincipe	19
	5.2 Beschikbare gegevens	19
	5.3 Praktijkimplementatie	19
	5.4 Conclusies en aanbevelingen	19
6	Spoelen en verdunnen	20
	6.1 Algemene beschrijving en werkingsprincipe	20
	6.2 Beschikbare gegevens	20
	6.2.1 De vloer vóór of na het schuiven te spoelen met water	20
	6.2.2 Verdunnen van mest in de mestkelder	21
	6.3 Praktijkimplementatie	21
	6.4 Conclusies en aanbevelingen	21
	6.4.1 De vloer vóór of na het schuiven te spoelen met water	22
	6.4.2 Verdunnen van mest in de mestkelder	22
7	Afdekking mestoppervlak	23
	7.1 Algemene beschrijving en werkingsprincipe	23
	7.2 Beschikbare gegevens	23
	7.2.1 Strolaag	23
	7.2.2 Drijvende afdeklagen (olie)	23
	7.2.3 Drijvende ballen	24
	7.3 Praktijkimplementatie	24
	7.4 Conclusies en aanbevelingen	24
8	Partiële reiniging van stallucht	25
	8.1 Algemene beschrijving en werkingsprincipe	25

8.2	Beschikbare gegevens	25
8.3	Praktijkimplementatie	26
8.4	Conclusies en aanbevelingen	26
9	Voorstel voor plan van aanpak	27
9.1	Aangepaste roostervloer	27
9.2	Optimalisatie van mestschuif	28
9.3	Koeling van mest	28
9.4	Spoelen en verdunnen	28
9.5	Afdekking mestoppervlak	29
9.6	Partiële reiniging stallucht	29
	Literatuur	30

Woord vooraf

Naast de beschikbare reductieopties in de vorm van emissiearme huisvestingssystemen, zoals opgenomen in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav), bestaan er diverse technische mogelijkheden om de ammoniakemissie uit melkveestallen (verder) te reduceren. Deze maatregelen kunnen binnen het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) door ondernemers worden ingezet. Dit rapport komt tegemoet aan de behoefte voor een indicatieve beoordeling van een aantal van deze technische mogelijkheden. De aanbevelingen uit dit onderzoek kunnen gebruikt worden voor de aansturing van verdere ontwikkeling van technische maatregelen.

Dit onderzoek is uitgevoerd en gefinancierd binnen het Beleidsondersteunend onderzoeksthema "Mest, Milieu en Klimaat" (BO-20-004-022) van het Ministerie van Economische Zaken.

De auteurs

Samenvatting

De Nederlandse overheid wil de uitstoot van ammoniak (NH₃) terugdringen. Via het Programma Aanpak Stikstof (PAS) dient onder andere een daling van de NH₃-emissie vanuit landbouwbedrijven in de buurt van Natura 2000-gebieden te worden gerealiseerd. Daarnaast is het de bedoeling om de NH₃-emissie uit de melkveehouderij generiek met 10% te verminderen via voer-, management- en stalmaatregelen. Naast de beschikbare reductieopties in de vorm van emissiearme huisvestingssystemen, zoals opgenomen in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav), bestaan er diverse, soms aanvullende, technische mogelijkheden om de ammoniakemissie uit melkveestallen (verder) te reduceren. Om richting te kunnen geven aan onderzoeksinspanningen en prioritering aan te kunnen brengen bestaat er bij het ministerie van Economische Zaken behoefte aan een indicatieve beoordeling van een aantal van deze technieken. In een eerder stadium is een voorselectie gemaakt van te beoordelen maatregelen zodanig dat de gekozen maatregelen aangrijpen op elk van de verschillende processtappen bij de vorming van ammoniak. Het gaat daarbij om:

- Afdekking van het mestoppervlak in de kelder
- Partiële reiniging van ventilatielucht (kelderafzuiging)
- Spoelen en verdunnen inclusief mogelijke gevolgen voor mestschuiven
- Aangepaste roostervloer
- Optimalisatie van mestschuiven
- Koeling van mest in kelder

De doelstelling van dit onderzoek is driedelig:

- Indicatief beoordelen van een aantal technieken voor ammoniakemissiereductie in melkveestallen
- Vaststellen of afleiding van emissiereductie mogelijk is uit andere diercategorieën
- Opstellen van een voorstel om tot een emissiefactor te komen als afleiding niet mogelijk is

In dit rapport wordt elke maatregel afzonderlijk beschreven, met daarin de volgende onderdelen:

- Beschrijving werkingsprincipe van de maatregel in fysisch-chemische termen
- Samenvatting beschikbare kennis en meetgegevens over effectiviteit
- Mogelijkheden praktijkimplementatie (incl. borgings- en handavingsaspecten van maatregel).

Als samenvatting worden in onderstaande tabel de aspecten van de verschillende maatregelen weergegeven met kleurcodes. Daarbij hebben de kleuren de volgende betekenis.

Beschikbare gegevens	Van deze maatregel zijn voldoende gegevens beschikbaar om tot een beoordeling te kunnen komen	Van deze maatregel zijn beperkt gegevens beschikbaar om tot een beoordeling te kunnen komen	Van deze maatregel zijn onvoldoende gegevens beschikbaar om tot een beoordeling te kunnen komen
Implementatie	Deze maatregel is momenteel geschikt voor implementatie in de praktijk	Deze maatregel is op onderdelen geschikt voor implementatie in de praktijk of vraagt nog enige ontwikkeling	Deze maatregel is nog niet geschikt voor implementatie in de praktijk
Eindoordeel	Perspectiefvol	Weinig perspectief of op onderdelen perspectiefvol	Geen perspectief
Verdere uitwerking	Deze maatregel verder uitwerken	Deze maatregel op onderdelen verder uitwerken	Deze maatregel op dit moment <i>niet</i> verder uitwerken

Hoofdstuk	Maatregel	Beschikbare gegevens	Implementatie	Eindoordeel	Verder uitwerken
3	Aangepaste roostervloer				
4	Optimalisatie mestschuif				
5	Koeling van mest				
6	Verdunnen en spoelen				
7	Afdekken van mestoppervlak				
8	Partiële reiniging stallucht				

Als aanbeveling wordt meegegeven om onderstaande maatregelen (op onderdelen) verder uit te werken en de uitwerkingen van overige maatregelen pas te overwegen als ontwikkelingen in de praktijk en bij marktpartijen daar aanleiding toe geven.

- Aangepaste roostervloer. De effectiviteit van flappen en kleppen en werking op langere termijn
- Optimalisatie mestschuif. Het effect van schuifrequentie en aanpassing van schuifblad (zachter materiaal)
- Spoelen en verdunnen.

Summary

The Dutch government wants to reduce the national emission of ammonia (NH₃). The 'Programma Aanpak Stikstof' (PAS) aims to reduce the NH₃-emission from livestock farms neighbouring a Natura 2000-area. Reduction of the ammonia emission from dairy farming with 10% through feeding rations, management measures and emission reducing housing systems will contribute to his goal. Ammonia emission reducing housing systems are listed in the 'Regeling ammoniak en veehouderij (Rav)'. Beside these list of around 30 housing systems a divers pallet of additional technical options to further reduce ammonia emission from housing is available.

To allocate limited resources for research the ministry of economic affair asked for a assessment and selection of these available additional housing measures. A pre selection has taken place in an earlier stage that resulted in the following measures:

- Covering of slurry surface in slurry pits
- Partial cleaning of ventilation air
- Use of water and possible effects on scraping
- Adjusted slatted floor
- Optimizing of slurry scrapers.
- Cooling of slurry in the pits

Objectives and research questions of this project was:

- Assessment of the use of selected techniques in dairy housing and effect on ammonia emissions.
- Is emission information available from other livestock species
- Proposal to come to an emission factor when deduction from other livestock species is not possible.

This reports summarizes the individual measures in three parts.

- Description of the working principle behind the selected measures
- Summary of available knowledge and research data on the reduction of ammonia emission
- Possibilities to implement these measures in practice including the option to control and secure these measures by responsible authorities.

As a summary score of the measures on the different aspect is presented in three colours. The colours have the following meaning per aspect.

Availability of information	Sufficient information is available to come to an final assessment	Limited information is available to come to an final assessment	Insufficient information is available to come to an final assessment
Implementation	This measures is suitable for direct implementation in practice	Part of this measure is suitable for implementation in practice or the measure need some further development	This measure is not ready yet for implementation in practice
Final conclusion	Useful and promising	Limited perspective or only partly useful	Not useful
Further development	Further development is recommended	Further development is only recommended on parts of the measure.	Further development is not recommended

Chapter	Measure	Available information	Implementation	Final conclusion	Further
3	Adjusted slatted floor	Yellow	Green	Yellow	Yellow
4	Optimized scraper	Yellow	Yellow	Green	Yellow
5	Slurry cooling	Green	Yellow	Yellow	Red
6	Dilution with water	Green	Green	Green	Green
7	Covering of slurry surface	Green	Yellow	Yellow	Red
8	Partial cleaning of ventilation air	Green	Red	Red	Red

As recommendation for further development toward implementation in practice the following measures are prioritized:

- Adjusted slatted floor and the effectiveness on the long term of valves preventing air exchange between pits and rest of the housing.
- Optimized scraper and the effect on scraping frequency and the use of other materials
- Use of water for dilution and cleaning of the floor.

Further development of other measures is only feasible when new development in practice of market take place.

1 Inleiding

De Nederlandse overheid wil de uitstoot van ammoniak (NH_3) terugdringen. Via het Programma Aanpak Stikstof (PAS) dient onder andere een daling van de NH_3 -emissie vanuit landbouwbedrijven in de buurt van Natura 2000-gebieden te worden gerealiseerd. Daarnaast is het de bedoeling om de NH_3 -emissie uit de melkveehouderij generiek met 10% te verminderen via voer-, management- en stalmaatregelen.

Naast de beschikbare reductieopties in de vorm van emissiearme huisvestingssystemen, zoals opgenomen in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav), bestaan er diverse, soms aanvullende, technische mogelijkheden om de ammoniakemissie uit melkveestallen (verder) te reduceren. Deels gaat het hier om principes die toegepast worden in andere diercategorieën, deels om verbetering van bestaande technieken in melkveestallen, en deels om de overdracht van technieken die voor melkveestallen zijn ontwikkeld, naar andere rundveecategorieën (bv. Jongvee). Er bestaat behoefte aan een indicatieve beoordeling van een aantal van deze technieken. In een eerder stadium is een voorselectie gemaakt van te beoordelen maatregelen zodanig dat de gekozen maatregelen aangrijpen op elk van de verschillende processtappen bij de vorming van ammoniak. Het gaat daarbij om:

- Afdekking van het mestoppervlak in de kelder
- Partiële reiniging van ventilatielucht (kelderafzuiging)
- Spoelen en verdunnen inclusief mogelijke gevolgen voor mestschuiven.
- Aangepaste roostervloer
- Optimalisatie van mestschuiven
- Koeling van mest in kelder

De doelstelling van dit onderzoek is driedig:

- Indicatief beoordelen van een aantal technieken voor ammoniakemissiereductie in melkveestallen
- Vaststellen of afleiding mogelijk is tussen diercategorieën, en waar mogelijk een advies voor afleiding opstellen
- Opstellen van een voorstel voor plan van aanpak wanneer geen afleiding mogelijk is om tot een emissiefactor te komen

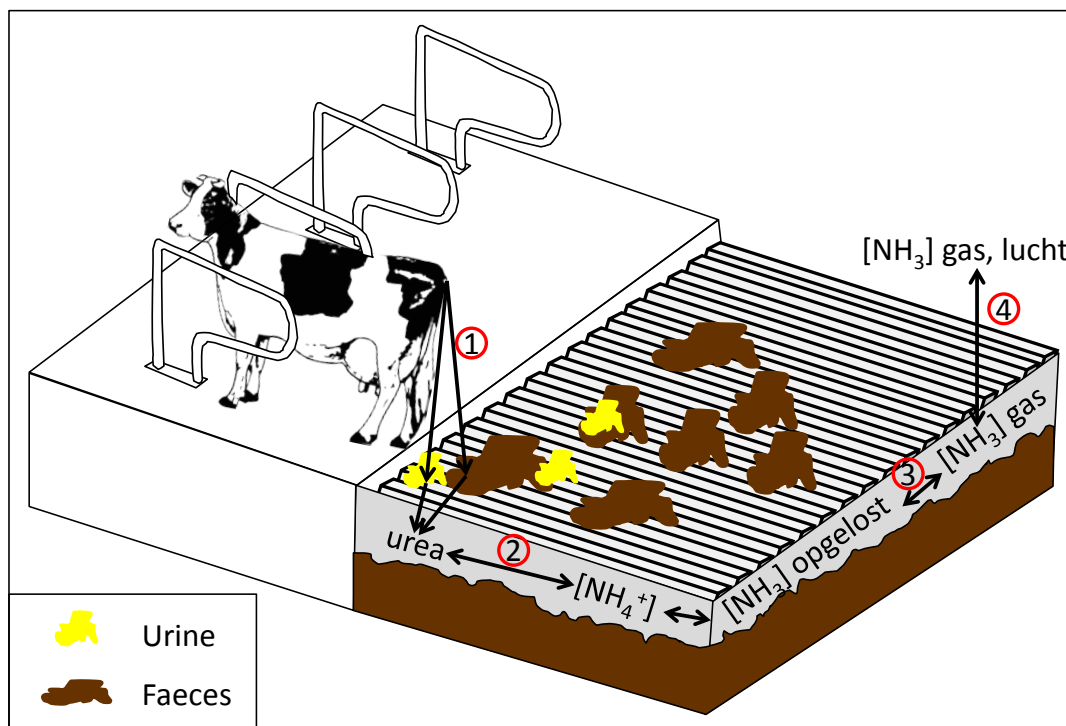
In dit rapport wordt elke maatregel afzonderlijk beschreven, met daarin de volgende onderdelen:

- Beschrijving werkingsprincipe van de maatregel in fysisch-chemische termen
- Samenvatting beschikbare kennis en meetgegevens over effectiviteit
- Mogelijkheden praktijkimplementatie (incl. borgings- en handhavingsaspecten van maatregel)

2 Ammoniakemissie uit stallen

Een koe scheidt een deel van het opgenomen eiwit in ruw- en krachtvoer uit in de vorm van de stikstofverbinding ureum in de urine en organische gebonden stikstof in de faeces (proces 1 in figuur 1). Ammoniak wordt geproduceerd door omzetting van ureum (urine) door het in de faeces aanwezige enzym urease (proces 2 in Figuur 1). Dit enzym is alom aanwezig op met mest besmeurde oppervlakken. De vorming van ammonium uit ureum is te verminderen door de ureaseactiviteit te beperken. Dit leidt echter nauwelijks tot verminderde ammoniakemissie omdat proces 2 slechts korte tijd de beperkende factor is in de ammoniakvorming en –emissie. Effectiever is het om te voorkomen dat het gevormde ammonium kan emitteren. Dat kan door:

- urine snel naar de onderliggende mestkelder af te voeren van waaruit de emissie wordt beperkt door menging van urine in de mestopslag met een lagere ammoniumconcentratie en een beperkte luchtuitwisseling (**Maatregel 1: aangepaste roostervloer; hoofdstuk 3**)
- mest frequent te verwijderen waardoor urineafvoer naar de onderliggende mestkelder wordt bevorderd (**Maatregel 2: optimalisatie mestschuif; hoofdstuk 4**).



Figuur 1. Ammoniakemissie uit stallen

Ammonium in de urine is in evenwicht met ammoniak (opgelost in de urine; proces 3 in Figuur 1). Een andere mogelijkheid om de vervluchtiging van ammoniak in dit stadium tegen te gaan is daarom door het evenwicht tussen ammoniak en ammonium richting ammonium te schuiven. Hiervoor bestaan de volgende mogelijkheden:

- de temperatuur of pH van het mest en urinemengsel te verlagen (**Maatregel 3: koeling van de mest; hoofdstuk 5**)
- de ammoniumconcentratie van het mest en urinemengsel te verlagen (**Maatregel 4: verdunnen en spoelen; hoofdstuk 6**)

De opgeloste ammoniak is in evenwicht met ammoniak in de onderste luchtlaag net boven het met het mest en urinemengsel en kan door diffusie vervluchtigen (proces 4 in Figuur 1). Dit proces is afhankelijk van het verschil in concentratie tussen ammoniak in het mest en urinemengsel en ammoniak in de onderste luchtlaag. Een mogelijke optie om dit proces tegen te gaan is door het

emitterend oppervlak te beperken en de luchtbeweging langs het emitterende mestoppervlak te reduceren (**Maatregel 5: Afdekking mestoppervlak; hoofdstuk 7**).

Eenmaal uit de mest vervluchtigd kan de ammoniakemissie uit de stal alleen nog worden gereduceerd door gebruik te maken van "end-of-pipe" technieken. Een voorbeeld hiervan voor melkveestallen is **partiële reiniging (Maatregel 6; hoofdstuk 8)**.

3 Aangepaste roostervloer

3.1 Algemene beschrijving en werkingsprincipe

Op dit moment zijn verschillende opties bekend om door een aangepaste roostervloer de ammoniakemissies te reduceren:

- a) Het aanbrengen van een alternatief materiaal op de roosterbalken.
- b) Het aanbrengen van een profilering en/of helling in de roosterbalken
- c) Het aanbrengen van kleppen of flappen in de roosterspleten.

a) Het aanbrengen van een alternatief materiaal kan verschillende effecten hebben op de ammoniakemissie, afhankelijk van het soort materiaal. Eén van de effecten van deze andere materialen ten opzichte van beton is dat door de (chemische) samenstelling, de microstructuur en stroefheid, de mest zich minder snel aan de vloer hecht of in de vloer dringt, waardoor het vloeroppervlak schoner blijft en de urine snelle afstroomt. Een bollende uitvoering van het materiaal kan voor een verdere verbetering van de afvoer van de urine richting de kelder zorgen waardoor weinig of geen urine achterblijft op de vloer. Dit heeft tot gevolg dat er op enig moment minder ammonium op de vloer aanwezig is waardoor de ammoniakemissie beperkt kan worden gehouden (zie hoofdstuk 2).

Materialen waarmee ervaring is zijn rubber, (epoxy)coatings en gietasfalt. Rubber kan in matten op de roosterbalken worden gelegd of er omheen worden geklemd. Wel bestaat de indruk dat de uitvoeringsvariant van de rubber mat invloed kan hebben op het reductie effect. Het is daarom lastig om in algemene termen over de toepassing van rubber te spreken.

Andere materialen dan rubber worden als een extra laag op het betonoppervlak aangebracht. Met (epoxy)coatings als afwerking van de loopvloer voor melkvee is in melkstallen ruime ervaring. Gietasfalt wordt al wel op dichte vloeren toegepast. Beide type materialen zijn nog niet gebruikelijk op roostervloeren.

b) Door het oppervlak van de roosterbalken te voorzien van (hellende groeven) of de roosterbalk in geheel onder een helling te plaatsten wordt beoogd de urine sneller af te voeren naar de onderliggende kelder. Het achterliggende principe is vergelijkbaar met dat van de dichte vloeren met een profilering of helling.

c) Door het afsluiten van de spleten wordt beoogd de luchtuitwisseling met de kelder te verminderen.

3.2 Beschikbare gegevens

Emissiefactoren

In de Rav zijn verschillende huisvestingssystemen opgenomen met aangepaste roostervloeren, meestal in combinatie met andere emissiereducerende principes (Tabel 3.1). De (voorlopige) emissiefactoren van deze Rav-huisvestingssystemen zijn ingeschat (*berekend*) op een emissiereductie van 22-57% voor permanent opstallen ten opzichte van de emissiefactor van overige huisvestingssystemen (13 kg per dierplaats per jaar). Dit betreft nog een voorlopige emissiefactor, die herzien zal worden wanneer *metingen* zijn uitgevoerd en gerapporteerd aan de TacRav.

Tabel 3.1

Huisvestingssystemen in de Rav (Staatscourant nr. 16866:juli 2015) gebaseerd op dit werkingsprincipe

Rav-code	BWL-nummers	Emissie (kg NH ₃ per dierplaats per jaar)
A1.9	BWL 2010.30.V3	6,0 ¹
A1.10	BWL 2010.31.V3	9,5 ¹
A1.13	BWL 2010.34.v5	7,7 ¹
A1.19	BWL 2012.05.v2	11,0 ¹
A1.27	BWL 2014.02.V1	10,3 ¹
A1.28	BWL 2015.05	7,7 ¹

¹ Voorlopige emissiefactor

Aanbrengen van een alternatief materiaal op de roosterbalken

In 2012 is een rapport verschenen (Mosquera e.a., 2012a) met resultaten van metingen volgens het huidig ammoniakmeetprotocol (Ogink e.a., 2013) op een locatie met roostervloer voorzien van rubberelementen, open spleten voor afvoer van urine, en frequent mestschuiven (A1.10). De resultaten van deze bedrijfslocatie laten een lagere emissiereductie (18%) zien dan de voorlopige emissiefactor (33%) wanneer de emissies worden vergeleken met de emissies op vier locaties met traditionele huisvesting (A1.100) (Mosquera e.a. 2010). Daarbij moet wel opgemerkt worden dat voor het vaststellen van een emissiefactor minimaal vier bedrijfslocaties bemeten moeten worden om een voldoende nauwkeurige emissiefactor te kunnen vaststellen. De gemeten waarde van een enkele bedrijfslocatie moet als een indicatie worden opgevat.

In de jaren 90 zijn epoxytroffels (meestal in melkstallen toegepast) gebruikt als toplaag. Bij metingen met een Lindvall doos op een hellende vloer met en zonder afwerkings-laag vonden Kant en Middelkoop (1994) en Kant e.a. (1992) een emissiereductie van tussen 23% en 50%, afhankelijk van het soort afwerking. Echter, Elzing e.a. (1992) en Swierstra e.a. (1994) vonden nauwelijks emissiereductie bij toepassing van een afwerkingslaag op een dichte hellende vloer ten opzichte van dezelfde vloer zonder afwerkingslaag.

Aanbrengen van een profilering en/of helling in de roosterbalken

In de Rav is één huisvestingssysteem opgenomen met (rooster)vloeren voorzien van groeven en helling (A1.27). De (voorlopige) emissiefactoren van deze Rav-huisvestingssystemen geven een emissiereductie van 27% voor permanent opstallen. Dit betreft nog een voorlopige emissiefactor, die herzien zal worden op basis van metingen.

Het aanbrengen van kleppen of flappen in de roosterspleten

Door in de roosterspleten (rubber)flappen te gebruiken kan de emissie nog verder omlaag worden gebracht, aangezien de emissies uit de mestkelder beperkt worden gehouden. In de Rav is een huisvestingssysteem opgenomen gebaseerd op dit emissiereductie principe (A1.9). De toegekende (voorlopig) emissiefactor geeft een emissiereductie van 57% voor permanent opstallen ten opzichte van de emissiefactor van overige huisvestingssystemen (11 kg per dierplaats per jaar). In 2012 zijn twee rapporten verschenen (Mosquera e.a., 2012b, 2012c) met resultaten van metingen volgens het huidig ammoniakmeetprotocol op twee locaties. De resultaten laten een lagere emissiereductie (33-43%) zien dan de (berekende) voorlopige emissiefactor wanneer de emissies worden vergeleken met de emissies op vier locaties met traditionele huisvesting (A1.100) (Mosquera e.a. 2010). Ook deze waarden zijn indicatief en dienen nog met twee locaties aangevuld te worden. Waarnemingen tijdens de metingen duiden er op dat het functioneren van de kleppen voor het afsluiten van de roosterspleten een aandachtspunt is, vooral het functioneren op lange termijn.

3.3 Praktijkimplementatie

Het aanbrengen van rubber matten kan op bestaande roostervloeren plaatsvinden. Rubber matten kunnen vaak op maat gemaakt worden. De genoemde rubber kappen (A1.10) worden op aangepaste roosterelementen gemonteerd. Montage op bestaande roosters verkleint de roosterspleet waardoor de mestdoorlaat verslechtert. Voor het aanbrengen van coatings op gebruikte roosters moeten deze goed schoongemaakt worden. Het aanbrengen van coatings is technische mogelijk maar de hechting is naar verwachting minder goed dan bij nieuw ongebruikte roosterelementen.

Het aanbrengen van groeven in de roostervloer is niet mogelijk in bestaande stallen. In de praktijk worden roosterbalken na verloop van tijd wel vaak op geruwd maar dit zijn erg ondiepe groefjes die naar verwachting eerder zorgen voor een toename van de emissie dan een afname. Ook het plaatsten van een roosterelement onder helling is in bestaande stallen niet of nauwelijks uitvoerbaar.

3.4 Conclusies en aanbevelingen

Het aanbrengen van rubber of een coating op de roosters is zowel in bestaande als nieuwe stallen mogelijk. De hechting van de coating aan gebruikte roostervloeren kan slechter zijn dan die op nieuwe vloerelementen. Aanwezigheid van de rubberelementen of afwerklaag is visueel te beoordelen. Het aanbrengen van rubberelementen kan de ammoniakemissie met (indicatief) 15-20% reduceren ten opzichte van een traditionele vloer, maar er zijn meer bedrijfsmetingen nodig voor een nauwkeuriger cijfer. Er is onvoldoende informatie beschikbaar om het effect van het aanbrengen van een coating of de roosters op de ammoniakemissie te bepalen. Bedrijfsmetingen lijken er op te wijzen er op dat toevoeging van (rubber)flappen de emissie verder beperkt tot (indicatief) 30-45%. Het functioneren van de flappen op langere termijn is hierbij een aandachtspunt.

4 Optimalisatie mestschuif

4.1 Algemene beschrijving en werkingsprincipe

In de huidige systemen opgenomen in de Rav is vrijwel altijd een mestschuif opgenomen. In de huidige beschrijvingen van de emissiearme vloeren worden vrijwel geen eisen gesteld aan de wijze van schuiven anders dan de frequentie waarmee dat moet gebeuren.

De verwachting is dat wanneer de mest niet alleen frequent maar ook volledig wordt verwijderd van het vloeroppervlak er minder mest op de vloer zal blijven liggen en de urine sneller zal wegstromen naar de kelder waardoor er minder ammoniak emitteert. Dit zou tevens leiden tot minder contact tussen urease in de mest en urine op de roosters, waardoor de omzetting van ureum in ammoniak op de vloer beperkt blijft zolang urease de beperkende factor in het emissieproces is (zie hoofdstuk 2).

Echter, wanneer de uitvoering van de mestschuif niet optimaal is, kan de mest juist in een dunne laag worden uitgesmeerd over een groter oppervlak, waardoor de ammoniakemissie kan toenemen. De uitvoering van de mestschuif levert in de praktijk grote verschillen op in de kwaliteit van het schuiven en dus de reinheid van de vloer en de ammoniakemissiereductie die bereikt kan worden.

Om de kwaliteit van schuiven te verbeteren zouden de volgende opties toegepast kunnen worden:

- Aanpassing van het schuifblad aan de uitvoering van de vloer (bijvoorbeeld vingers die de groeven schoonmaken)
- Frequentie van schuiven
- Gebruik van (zachtere) rubber schuifbladen waardoor het contact met de vloer verbetert
- Gebruik van kleine hoeveelheden water om het vloeroppervlak te bevochtigen
- Andere technieken van vloerreiniging (dweilen, borstelen, ...).

4.2 Beschikbare gegevens

Er bestaan nauwelijks harde gegevens over het effect van beter schuiven. Door Bleijenberg et al. (1994) is het effect van een roosterschuif onderzocht. Daaruit bleek geen significant effect op de ammoniakemissie. Het gebruik van water tijdens het schuiven van de roostervloer droeg wel bij aan een significante vermindering van de ammoniakemissie. Bij gebruik van 19 liter water per koe per dag en een schuiffrequentie van elke 2 uur, daalde de ammoniakemissie met 17%. Bij gebruik van 47 liter water per koe per dag en dezelfde schuiffrequentie daalde de ammoniakemissie met 28%. Op basis van gegevens uit Smits et al (1993) is af te leiden dat het waterverbruik tijdens de waarnemingen respectievelijk 4,6 en 11,4 liter per m² per dag bedroeg. Gebruik van water (spoelen) maakt ook onderdeel uit van een aantal Rav beschrijvingen. Het waterverbruik varieert van 10-35 liter per koe per dag.

Het effect van een schuif of schuiffrequentie zal naar verwachting afhangen van het vloertype en groter zijn naarmate de urine sneller wordt afgevoerd naar de kelder door het beter of vaker schuiven van de vloer. In de Rav wordt aan het schuiven of aan de schuiffrequentie (bijvoorbeeld vierentwintig keer per dag in plaats van twaalf keer per dag) geen extra emissiereductie toegekend. Wel maakt schuiven vaak onderdeel uit van de systeembeschrijving. Ook robotschuiven zijn toegestaan.

4.3 Praktijkimplementatie

Bij getrokken mestschuiven is vaker schuiven eenvoudig te implementeren door aanpassing van de instellingen. Robotschuiven hebben een maximale capaciteit uitgedrukt in m² geschoven oppervlak per etmaal. Tot deze maximale capaciteit is vaker schuiven mogelijk. Daarna moet geïnvesteerd worden in een extra robotschuif. Het aanbrengen van een spoelinstallatie is in de meeste gevallen technisch

mogelijk maar vraagt een forse investering. Robotschuiven zijn ook verkrijgbaar met een installatie die water over de vloer verneveld. Vergroting van de waterhoeveelheid per m² is mogelijk maar gaat ten koste van de schuifcapaciteit. Door aanpassing van het schuifblad kan de kwaliteit van het schuiven verbeteren. Over het algemeen geeft een zachter schuifblad een beter effect maar zal ook sneller slijten. Voor het reinigen van groeven of gleuven van de vloer moet de schuif ontwikkeld worden in samenhang met de vloer. Alleen voor de sleufvloer is dat het geval. Toepassing van andere reinigingstechnieken als borstelen of dweilen heeft nog geen ingang gevonden in de melkveehouderij. Het toepassen van water in combinatie met schuiven kan bij kleine hoeveelheden water de schuifeffectiviteit verbeteren maar heeft pas bij grote hoeveelheden water effect op de ammoniakemissie. Wanneer grote hoeveelheden water (>3 liter per m² per dag) gebruikt worden moet ook rekening gehouden worden met consequenties voor opslagcapaciteit (uitgedrukt in maanden neemt die door het toevoegen van water af) en extra kosten bij het toedienen. Aan de andere kant zullen waarschijnlijk ook andere positieve effecten optreden zoals minder ammoniakemissie bij uitrijden.

4.4 Conclusies en aanbevelingen

De verwachting is dat door beter (optimaal) te schuiven de ammoniakemissie verder gereduceerd kan worden. De effectiviteit van deze maatregel zal ook afhankelijk zijn van de vloeruitvoering. Bij vloeren met een duidelijke profilering voor de afvoer van urine (groeven, sleuven) is de kans groot dat groeven en sleuven geblokkeerd worden door mestresten, waardoor de urine niet meer snel wordt afgevoerd. De potentiële emissiereductie wordt daardoor niet bereikt. Door gebruik te maken van een schuif die is aangepast aan de vloer kan dit effect beperkt blijven, waardoor naar verwachting een (extra) emissiereductie kan worden bereikt. Gebruik van water is toegestaan als reductiemaatregel maar wordt nauwelijks toegepast in de voorgeschreven hoeveelheden. Andere reinigingstechnieken moeten nog ontwikkeld worden.

Dit is een maatregel die additioneel kan worden genomen. Hardware (type en uitvoering van schuif en spoelleidingen) is eenvoudig te controleren. Schuiffrequentie en waterverbruik kan via een elektronisch logboek (bestaande methode) gecontroleerd worden.

5 Koeling van mest

5.1 Algemene beschrijving en werkingsprincipe

De verwachting is dat door het koelen van de mest het proces van ammoniakvorming minder snel zal verlopen (zie hoofdstuk 2). In de varkenshouderij wordt een systeem toegepast gebaseerd op dit principe. Door middel van drijvende elementen wordt warmte aan de mest onttrokken. Daarvoor wordt grondwater ingezet.

5.2 Beschikbare gegevens

In de varkenshouderij zijn er verschillende uitvoering van dit systeem in de Rav opgenomen, met een NH₃-emissiereductie van 44-52% (vleesvarkens), 48% (dragende zeugen), en 75% (biggen). Er zijn verschillende metingen verricht naar het effect van mesttemperatuur op ammoniakemissie. Anderson (1995) vond een significant effect van mesttemperatuur op de ammoniakemissies van zowel varkens als rundvee drijfmest. Anderson (1996) rapporteert een reductie van 40% in ammoniakemissie door de mesttemperatuur te reduceren van 15°C naar 10°C. Gustafsson et al. (2005) vonden een reductie in ammoniakemissie van 11-23% door het koelen van mest in de mestkelder m.b.v. buizen gevuld met drinkwater. Rom et al (2000) rapporteren een reductie van 40-50% in ammoniakemissie door de temperatuur van de stal en de mest te verlagen. Voermans et al. (1996) concluderen dat reducties van 50% in ammoniakemissie mogelijk zijn door alleen de temperatuur van de mest te verlagen.

5.3 Praktijkimplementatie

Het aanbrengen van het koeldekstelsysteem in melkveestallen is technisch mogelijk maar complex. Dat heeft onder andere te maken met het grote oppervlak van de mestkelders. Onzeker is echter hoe het systeem uit de varkenshouderij zich gaat gedragen in een kelder voor melkvee wetende dat zich bij runderdrijfmest een drijfslag vormt. Voor controle en handhaving kan gebruik worden gemaakt van de aanwijzingen in de Rav systeembeschrijvingen.

5.4 Conclusies en aanbevelingen

Een systeem om de mest te koelen is in de rundveehouderij nog niet toegepast, lijkt technisch inzetbaar maar is complex in de uitvoering. Praktische ervaringen moeten nog worden opgedaan. Het effect op de ammoniakemissie is naar verwachting kleiner dan gemeten in varkensstallen omdat de mesttemperatuur in varkensstallen hoger is en dus verder gereduceerd kan worden dan in rundveestallen. Een emissiereductie van 10-15% lijkt haalbaar. Gecombineerd met de complexiteit van de uitvoering in melkveestallen heeft deze maatregel een beperkt perspectief.

6 Spoelen en verdunnen

6.1 Algemene beschrijving en werkingsprincipe

Door de mest te verdunnen daalt de ammoniumconcentratie. Hierdoor verschuift het chemisch evenwicht tussen NH_3 en ammonium richting ammonium, waardoor de emissie van NH_3 wordt gereduceerd. Deze maatregel kan op twee verschillende manieren worden uitgevoerd:

- Door de vloer vóór, na of tijdens het schuiven te spoelen met water. Dit zorgt ervoor dat urine en mest sneller afgevoerd worden en de aanwezige urine verdund wordt. Daardoor vindt vermindering van de vloeremissie plaats. Daarnaast wordt door verdunning een verlaging van het ammoniumgehalte in de mest bereikt. De emissiereductie is afhankelijk van de hoeveelheid water en van het vloertype. Technische beschrijving van de maatregel is opgenomen in BWL2001.28. Het water verdund ook de mest in de kelder (zie hieronder).
- Verdunnen van mest in de mestkelder. Door de mest in de kelder te verdunnen met water daalt de ammoniumconcentratie en daarmee de ammoniakemissie. Hoe meer verdunning, hoe minder de emissie. In theorie is deze relatie recht evenredig. Dit betekent dat bij een halvering van de concentratie de ammoniakemissie ook halveert. De maatregel heeft geen invloed op de ammoniakemissie vanaf de vloer.

6.2 Beschikbare gegevens

6.2.1 De vloer vóór of na het schuiven te spoelen met water

Deze maatregel is opgenomen in de Rav als "Loopstal met hellende vloer en giergoot of met roostervloer; beide met spoelsysteem (BWL 2001.28)". De toegekende emissiefactor is 7,5 kg NH_3 per dierplaats per jaar bij beweiden en 8,6 kg NH_3 per dierplaats per jaar bij permanent opstallen. De maatregel zoals beschreven in BWL 2001.28 is echter alleen toepasbaar:

1. op dichte hellende vloer of een roostervloer (10 liter water per m² per dag)
2. bij een oppervlakte van maximaal 3,5 m²/dier.

Ook bij andere andere maatregelen in de Rav is spoelen een onderdeel. Onder huisvestingssysteem A1.3 zijn een aantal beschrijvingen van vergelijkbare vloeren opgenomen waarvan spoelen een onderdeel uitmaakt. De toegekende emissiefactor is ook 7,5 kg NH_3 per dierplaats per jaar bij beweiden en 8,6 kg NH_3 per dierplaats per jaar bij permanent opstallen. Onder huisvestingssysteem A1.4 is een beschrijving opgenomen met nummer BB 94.02.015.v1 waarin het spoelen van vloeren met minimaal 15 liter per water per koe per dag op een dichte hellende vloer met een oppervlak van maximaal 3,75 m² per dier. De toegekende emissiefactor is 6,8 kg NH_3 per dierplaats per jaar bij beweiden en 7,88 kg NH_3 per dierplaats per jaar bij permanent opstallen.

In de literatuur zijn de effecten van spoelen van roostervloeren met water niet eenduidig. 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. Door de frequentie en hoeveelheid water die toegepast wordt bij spoelen te variëren, vonden Kroodsmas et al. (1993) een emissiereductie van 25-72% bij frequent spoelen (12-24 keer per dag) en een watergebruik van 50-110 liter per koe per dag. De Boer et al. (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. Ogink en Kroodsmas (1996) vonden vergelijkbare resultaten (17% emissiereductie bij een watergebruik van 19 liter per koe per dag). Bleijenbergs et al. (1994) vonden een emissiereductie van 17-28% bij een waterverbruik van 17-47 liter per koe per dag.

De beschikbare gegevens bij dichte hellende vloeren laten een reductie in de ammoniakemissie zien door het toepassen van deze maatregel. De effecten zijn echter afhankelijk van de hoeveelheid water die toegepast wordt, en niet helemaal consistent. Kant et al. (1992) vonden een reductiepercentage

van 50% bij metingen op een vloer die twee keer per uur gespoeld werd met 0,15-0,30 liter water per m² per spoelbeurt. Door de vloer alleen te bevochtigen werd echter een hogere emissie gemeten. Huis in 't Veld et al. (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 et al., 1994b).

6.2.2 Verdunnen van mest in de mestkelder

Er zijn geen literatuurgegevens beschikbaar om het effect van verdunnen van mest in de mestkelder direct te bepalen. De verwachting is dat door een lege kelder voor de helft met water te vullen, de ammoniakemissie uit de kelder met gemiddeld 65% daalt. Dit komt doordat met name aan het begin de reductie hoog is, aangezien er dan veel water in de kelder zit en nog weinig mest. De reductie neemt geleidelijk af (naar ca. 50%) wanneer de kelder geheel gevuld is met voor de helft water en voor de helft mest. Op stalniveau lijkt door de maatregel een emissiereductie van 30% haalbaar, uitgaande van een verhouding tussen kelder- en vloeremissie van 50 – 50%. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat het uitgangspunt erbij is dat het water en de mest volledig mengen. Wanneer er zich een drijfslag van vaste mestdelen gaat vormen kan die gaan fungeren als een emitterend oppervlak en daarmee het verdunningseffect verstoren.

6.3 Praktijkimplementatie

In de systeembeschrijvingen zijn de eisen aan het spoelsysteem beschreven. Deze uitvoeringseisen zijn tijdens een bedrijfsbezoek te controleren. Controle van de hoeveelheid toegediend water is middels een geijkte en verzegelde watermeters te regelen.

Het controleren van de optie verdunnen van mest in de mestkelder is veel lastiger. Mogelijk dat via het meten van de concentratie aan zouten via NIRS technologie een sluitende controle is te bereiken. NIRS apparatuur is echter nog niet breed beschikbaar voor deze toepassing en erg duur. Omdat ook het effect op de emissie minder is dan bij toediening van het water op de vloer heeft deze laatste variant de voorkeur. Het is onbekend of dezelfde effecten op de ammoniakemissie haalbaar zijn zonder de beperkende voorwaarden wat betreft oppervlakte per dier die nu in de bestaande systeembeschrijvingen zijn opgenomen. Daar zou verder onderzoek naar verricht moeten worden. Voor beide uitvoeringen geldt dat ook bij het aanwenden van mest reductie van de ammoniakemissie mogelijk is. De extra kosten die met spoelen en verdunnen en het verdund uitrijden gepaard gaan moeten worden afgewogen tegen het reductie effect. Om de kosten te verminderen zou gekozen kunnen worden om alleen tijdens de zomermaanden (wanneer voldoende opslagcapaciteit beschikbaar is) te spoelen. Dit zal gevolgen hebben voor de emissiereductie per jaar. Tegenover de extra kosten kunnen ook extra opbrengsten staan. Bij droogtegevoelige gebieden kan het extra water mogelijk ook een positief effect hebben op de grasopbrengst. Toediening van verdunde drijfmest leidt tot verminderde emissie tijdens uitrijden. Door deze vermindering van de verliezen bij toediening kan de stikstofwerking toenemen.

Water voor het spoelen en verdunnen kan afkomstig zijn van hemelwateropvang, hergebruik spoelwater van melkstal, water uit eigen bron, oppervlaktewater en leidingwater of een combinatie hiervan.

6.4 Conclusies en aanbevelingen

Effectiviteit van deze maatregelen hangt af van de mate van verdunning. Hoe meer verdunning, hoe meer emissievermindering. Theoretisch is deze relatie evenredig, wat betekent dat bij een halvering van de concentratie de ammoniakemissie ook halveert. Bij een roostervloer met kelders daalt de totale emissie uit de stal dan met ongeveer 25% omdat de kelder voor 50% verantwoordelijk is voor de emissie. Het verdunningseffect kan mogelijk verstoord worden door een drijfslag met vaste mestdelen, hierover is nog weinig bekend. Ook bij de mesttoediening is een positief effect te

verwachten door lagere ammoniakemissie tijdens het uitrijden. Mogelijk is er ook nog een positief effect via een betere stikstofwerking van de mest op het gewas door extra water. De positieve effecten van verdunning moeten afgewogen worden tegen eventuele extra kosten voor opslag en transport.

6.4.1 De vloer vóór of na het schuiven te spoelen met water

Spoelleidingen kunnen zowel in bestaande als nieuwe stallen aangebracht worden. Ook een mestschuif of schuifrobot kan uitgerust worden met een spoelinstallatie. Bij het toevoegen van water door het spoelen van de roosters of dichte vloer is ook een positief effect op de ammoniakemissie van de vloer te verwachten. Uit de beschikbare gegevens volgt geen eenduidige relatie tussen emissiereductie en gebruikte hoeveelheid vloeistof. De emissiereductie van 22% bij 10 liter per m² per dag zoals opgenomen in de Rav valt binnen de spreiding in gevonden resultaten.

Door de snellere afvoer van mest en urine verbetert de beloopbaarheid van de vloer. Wel brengt de maatregel directe kosten mee voor het water en indirect voor extra mestopslag en grotere hoeveelheden uit te rijden mest. Deze nadelen kunnen verminderd worden door alleen in de zomermaanden te spoelen. In de zomer is er meer ruimte in de mestopslag doordat er regelmatig mest wordt uitgereden en/of de koeien gedeeltelijk in de weide zijn. Door alleen in de zomer te spoelen zal het effect op de emissie ook kleiner worden.

De maatregel kan geborgd worden door controle op hoeveelheid toegevoegd water (middel) in combinatie met de frequentie van schuiven en spoelen. Wanneer toegepast in combinatie met verdunnen van mest in de kelder is ook controle op droge stofgehalte van de mest mogelijk (doel).

6.4.2 Verdunnen van mest in de mestkelder

Verdunnen van mest in mestkelder met water is een maatregel die additioneel kan worden genomen, naast andere huisvestings- of managementmaatregelen. Het is een simpele maatregel die ook voor bestaande bedrijven toepasbaar is. In principe is elk mestafvoersysteem geschikt voor het toepassen van deze maatregel, zolang mest en water maar samen opgeslagen worden. Als de kelder vol is, dient de ondernemer deze in één keer leeg te maken en opnieuw halfvol te vullen met water. Het vullen van de kelder met 50% water is een vuistregel en vraagt van de ondernemer kennis over de m³ inhoud van zijn mestkelder. Het droge stofgehalte mag ieder geval niet boven de 5% uitkomen, anders is de mest niet voldoende verdund. De maatregel kan geborgd worden door controle op hoeveelheid toegevoegd water (middel) of op droge stofgehalte van de mest (doel). Handhaving kan plaatsvinden door controle op watertoevoegingen (logboek) of mestsamenstelling in kelder of bij uitrijden.

7 Afdekking mestoppervlak

7.1 Algemene beschrijving en werkingsprincipe

Van de ammoniakemissie uit ligboxenstallen met roostervloer is volgens huidige inzichten ongeveer 50–70 % afkomstig van de roosters en 30-50% van het mestoppervlak uit de kelder. Door de mest in de kelder af te dekken wordt het emitterend oppervlak verkleind en de emissie gereduceerd. Om emissie vanuit de mestkelder te voorkomen zijn verschillende afdekmethoden mogelijk:

1. Afdekken met een strokorst. Ammoniakemissie wordt gereduceerd door niet alleen het emitterend oppervlak te verminderen, maar ook door een poreuze laag stro te creëren waar ammoniak omgezet kan worden door aerobe micro-organismen.
2. Drijvende afdekking
 - a. Vloeibare laag, waarin ammoniak niet oplosbaar is. Een vloeibare afdeklag functioneert het best als de laag het mestoppervlak volledig afsluit. Een laag olie blijft op de mest drijven en kan dus het mestoppervlak bedekken. Als er opdrijvende delen in de mest zitten, zoals dikwijls bij runderdrijfmest, is meer olie nodig om te voorkomen dat deze opdrijvende delen boven het vloeistofoppervlak gaan uitsteken.
 - b. Drijvende ballen. Het principe van de drijvende ballen (ook wel balansballen genoemd) is al bekend in de varkenshouderij en richt zich helemaal op het verminderen van de ammoniakemissie uit de kelder. De balansbal is een holle bal, gemaakt van polyethyleen en voor ongeveer de helft gevuld met water. Mest die door de roosterspleten valt komt in de vrije ruimte tussen de drijvende ballen terecht. Als er mest op de bal achterblijft wordt deze na verloop van tijd topzwaar en draait vanzelf rond zodat het schone gedeelte, dat eerst onder het mestoppervlak zat, nu boven komt. Er zijn twee uitvoeringen bekend: een bal met een diameter van 22,5 cm en een versie met een diameter van 27 cm.

7.2 Beschikbare gegevens

7.2.1 Strolaag

Xue en Chen (1999) vonden bij mestopslagen een reductie in ammoniakemissie van 60-95% bij een strolaag van 5-10cm. Vergelijkbare resultaten (60-80% emissiereductie) zijn door Bicudo et al. (1999) gerapporteerd bij strolagen van 10-30 cm. Door De Bode (1990a; 1990b), Oosthoek (1993) en Verboon et al. (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 et al., 1993).

7.2.2 Drijvende afdeklagen (olie)

Derikx et al (1995) hebben onderzoek gedaan naar drijvende afdeklagen. Er werden zowel minerale als plantaardige oliën gebruikt. De reductie onder laboratoriumomstandigheden bedroeg 84-96% bij een laagdikte van 10 mm. Bij toepassing in een praktijkstal voor varkens werden emissiereducties van 40-45% gemeten. Om de mestopslag afgedekt te houden is het nodig om regelmatig extra olie toe te dienen.

In Denemarken is onderzoek gedaan naar de emissiereductie van verschillende materialen als afdekking van mestsilos. Eén van de onderzochte materialen was raapolie. Gedurende de winterperiode gaf dit een reductie van de ammoniakemissie van 73%. In de zomerperiode was de behaalde reductie 58%. Indien in de kelder dezelfde reductie wordt gehaald als in het Deense onderzoek in de silo met raapolie (namelijk \pm 75%), is een reductie van de stalemissie mogelijk van circa 30%. Verschil tussen toepassing in een mestlo en in een mestkelder is de regelmatige aanvoer van verse mest en urine. Raapolie heeft weinig effect op de ammoniakemissie bij een regelmatige aanvoer van verse mest en urine. Paraffineolie heeft een positief effect op de reductie van emissie bij

regelmatige aanvoer van verse mest en urine. Een reductie van 50% van de emissie uit de kelder is mogelijk. Raapolie is een plantaardige olie die makkelijk is af te breken door de in de mest aanwezige bacteriën. Bij afwezigheid van zuurstof komt hierbij methaan vrij.

7.2.3 Drijvende ballen

Voor varkens is de drijvende bal of balansbal als additionele techniek opgenomen in de bijlage van de Rav onder nummer BWL 2010.01 met een emissiereductie van 29%, gebaseerd op metingen gerapporteerd in Mosquera et al. (2009). Het werkingsprincipe is ook in de melkveehouderij toepasbaar. De ervaringen uit de varkenshouderij zijn echter niet één op één te vertalen naar de melkveehouderij. Bij melkvee is sprake van een andere mestsamenstelling en -eigenschappen, een ander mest- en urinegedrag van de koeien en een andere verdeling van de bijdrage van vloeren en kelders aan de totale stalemissie. Bij varkens wordt slechts een beperkt deel van het hok gebruikt voor mestgedrag. Melkvee bevult de gehele loopvloer met urine en mest. Daardoor zal ook een groot deel van de drijvende ballen in de mestkelder regelmatig voorzien worden van een vers laagje urine. Daarom zal het effect van drijvende ballen bij melkvee waarschijnlijk minder groot zijn dan bij varkens. Omdat bij melkvee, in tegenstelling tot varkens, meer ammoniak vanaf de roostervloer emitteert, zal het effect van drijvende ballen bij melkvee ook om die reden waarschijnlijk lager zijn dan bij varkens. Uit indicatieve metingen in een rundveestal uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research (Dooren, 2009) is een reductie van de ammoniakemissie gemeten van 30% bij de kleine ballen en 17% bij de grote ballen. De variatie in de reductie tussen de verschillende metingen was echter groot.

7.3 Praktijkimplementatie

Het afdekken van het mestoppervlak in mestsilo of mestkelder met stro, olie of drijvende ballen levert in de praktijk nauwelijks problemen op en is ook toepasbaar in bestaande stallen. Het knelpunt bij de invoering van deze maatregelen ligt in het borgen van het effect en de handhaving van de maatregelen. Aanwezigheid van een strolaag is moeilijk visueel te beoordelen in een afgedekte silo of mestkelder. Datzelfde geldt in sterkere mate voor een olielaag en in mindere mate voor de drijvende ballen. Of de maatregel zodanig is uitgevoerd dat die daadwerkelijk effect heeft is nog moeilijker vast te stellen.

7.4 Conclusies en aanbevelingen

- Strokersten en vloeibare afdeklagen zijn gevoelig voor verstoring door weer of door het mengen van de mest.
- Het gebruik van vloeibare afdeklagen kan op zichzelf weer leiden tot (toenemende) emissies van andere gassen (waaronder methaan), gevaarlijke situaties door explosiegevaar of bodemverontreiniging afhankelijk van de gebruikte vloeistof.
- Raapolie heeft weinig effect op de ammoniakemissie bij een regelmatige aanvoer van verse mest en urine. Paraffineolie heeft een positief effect op de reductie van emissie bij regelmatige aanvoer van verse mest en urine, maar is te duur voor toepassing in kelders.
- Drijvende ballen zijn toepasbaar in kelders met drijfmest en het meest effectief bij een roostervloer. De maatregel is te handhaven door het eisen van een opleveringsverklaring waarin wordt aangetoond dat in elk mestkanaal een correct aantal ballen van het juiste type is aangebracht, en door aanvullende visuele controle op een goede aansluiting van de ballen in de kelder. Voor varkens is een emissiereductie van 29% vastgesteld. Voor rundvee zijn bij indicatieve metingen reducties van 17-30% gemeten.
- Door vermindering van emissie uit de opslagen neemt het risico op ammoniakemissie tijdens toediening van de mest toe.

8 Partiële reiniging van stallucht

8.1 Algemene beschrijving en werkingsprincipe

In de varkens- en pluimveehouderij is het zuiveren van ventilatielucht met een luchtwasser een veel toegepaste methode om de ammoniakemissie te beperken. Het grote voordeel is dat er geen concessies aan het huisvestingssysteem gedaan hoeven te worden, bijvoorbeeld ten aanzien van welzijn. In de melkveehouderij ligt een dergelijk systeem echter niet zo voor de hand. Door de open stallen met natuurlijke ventilatie zijn de luchthoeveelheden erg groot. Dat maakt het erg lastig om alle uitgaande ventilatielucht te vangen. Afhankelijk van de windsnelheid en -richting fungeren de nok en de zijwanden over de hele lengte van de stal als opening voor de uitgaande lucht. Om de uitgaande lucht toch te kunnen zuiveren zou de stal mechanische geventileerd moeten worden en de het ventilatiedebiet sterk worden beperkt. Dat betekent een forse aanpassing in het huidige houderijsysteem. Een alternatief is om slechts een deel van de ventilatielucht te zuiveren. Daarvoor moet de ventilatie gesplitst worden in een kleine stroom met zoveel mogelijk ammoniak en een grote stroom met daarin zo min mogelijk ammoniak. Door de kleine luchtstroom te zuiveren kan toch een aanzienlijke emissiereductie bereikt worden en worden de kosten van beperkt omdat een relatief kleine luchtwassers toegepast kan worden. De kelder is de meest aangewezen plek om lucht aan te zuigen omdat de vorming van ammoniak in de kelder en vlak boven de kelder op de vloer plaatsvindt. Door afzuiging van deze lucht kan met een relatief beperkte hoeveelheid lucht een groot deel van de ammoniak ingevangen worden. Het is echter waarschijnlijk dat door deze putventilatie de totale emissie toeneemt. Afstemming van het systeem moet zo zijn dat deze toename aanzienlijk kleiner is dan de reductie door het reinigen van deze luchtstroom met een (chemische) luchtwasser.

8.2 Beschikbare gegevens

Er zijn voor melkvee in Nederland nog geen metingen van het effect van deze maatregel in de praktijk verricht. Uit modelberekeningen blijkt dat de ammoniakemissie reductie in melkveestallen tussen de 15 en 45 % zal liggen (Dooren en Smits, 2009), afhankelijk van de precieze uitvoering van het systeem. Zo zijn de volgende aspecten van invloed op de reductie:

- de hoeveelheid afgezogen lucht;
- het aantal afzuigpunten onder de roosters;
- de locatie van de afzuigpunten;
- de breedte van de mestkelder.

Voor een maximaal effect is een luchtwasser met een verwijderingsrendement van minstens 90% aan te raden. Het gebruik van een luchtwasser heeft niet of nauwelijks effect op de emissie van de stalvloer. Een dergelijk systeem is bij vleeskalveren door Smits et al (2008) getest.

In Denemarken is de emissie van een stal uitgerust met een hybride ventilatiesysteem gemeten (Rong et al., 2014). Dit ventilatiesysteem bestaat uit een mechanische afzuiging van lucht uit de mestkelder (putventilatie) en een automatisch geregelde natuurlijke ventilatie in de rest van de stal. De regeling vindt plaats op basis van staltemperatuur en CO₂-concentratie. De emissie van zowel putventilatie als natuurlijke ventilatie is gemeten gedurende een winter- en een zomerperiode, van beide ongeveer 1 maand. Het aandeel putemissie in de totale emissie was gedurende de zomerperiode 64% en gedurende de winterperiode 83%. De absolute emissie was 13,4 kg NH₃ per dierplaats per jaar in de winter en 25,1 kg NH₃ per dierplaats per jaar gedurende de zomer. Als de putventilatie door een chemische wasser met een verwijderingsefficiëntie van 90% wordt geleid daalt de totale emissie naar 3,4 kg NH₃ per dierplaats per jaar in de winter en 10,6 kg NH₃ per dierplaats per jaar in de zomer. Daarmee lijkt dit hybride ventilatiesysteem perspectiefvol. Toch zijn deze resultaten niet direct van toepassing in de Nederlandse situatie. Door Rong et al. (2014) zijn geen metingen aan dezelfde stal zonder de putventilatie uitgevoerd. Het effect van de hybride ventilatie zou daarmee duidelijker vast te stellen zijn geweest. De mestkelders onder de roostervloer waren erg ondiep en dienden niet voor de langdurige opslag van mest zoals in Nederland de praktijk is. De mest werd met een mestschuif

over de putvloer snel afgevoerd naar een mestverwerkingsinstallatie buiten de stal. Het ruwvoerrantsoen bestond voor 64% uit snijmaiskuil en voor 26% uit graskuil. Gegevens over het ureumgehalte in urine of melk zijn niet beschikbaar.

8.3 Praktijkimplementatie

Een partieel (of hybride) ventilatiesysteem is een complex geheel wat betreft luchtkanalen en regeling. Het aanbrengen van een dergelijke ventilatiesysteem in bestaande stallen ligt daarom niet voor de hand vanwege de grote aanpassingen die plaats moeten vinden. Ontwerp van een nieuwe stal met een dergelijk systeem is mogelijk. Met de regeling van een dergelijk systeem is (behalve in Denemarken) nog geen ervaring opgedaan. Mogelijk dat ook de natuurlijke ventilatie aangepast en geregeld moet worden. Ook borging van de effectieve werking van dit systeem is nog niet verder uitgewerkt. Wellicht kan de vracht ingevangen stikstof door de luchtwasser een indicatie zijn voor de effectiviteit van het hele systeem.

8.4 Conclusies en aanbevelingen

Voordelen van het systeem naast de ammoniakemissiereductie zijn een betere luchtkwaliteit in de stal en daardoor verminderde blootstelling van mens en dier aan ammoniak en andere schadelijke (mest)gassen. De gebruikte luchtwassers kunnen fors kleiner en daarmee goedkoper zijn dan luchtwassers voor alle stallucht. Voor het afvangen van de ammoniak uit de kelderlucht moet een chemisch luchtwassysteem met een verwijderingsrendement van tenminste 90 % worden ingezet. Het gebruik van een partieel ventilatiesysteem heeft waarschijnlijk nauwelijks effect op de emissie van de stalvloer. Met de regeling van het systeem is nog nauwelijks ervaring opgedaan. De balans tussen zoveel mogelijk afzuigen van kelderlucht om de stalemissie te reduceren en de grootte van de benodigde luchtwasser moet verder onderzocht worden. Deze maatregelen is in principe toepasbaar in nieuwe stallen met kelders. Op dit moment wordt deze maatregel in Nederland slecht in enkele gevallen toegepast in de praktijk in het kader van de proefstalregeling. In Denemarken is kelderafzuiging in zowel de varkenshouderij als de melkveehouderij verder onderzocht en uitgevoerd.

9 Voorstel voor plan van aanpak

Als samenvatting van de behandelde maatregelen worden in onderstaande tabel de verschillende aspecten waarop de maatregelen beoordeeld zijn opgesomd en de score op deze aspecten met kleurcodes weergegeven (Tabel 9.2). Daarbij hebben de kleuren de volgende betekenis (Tabel 9.1).

Tabel 9.1

Betekenis van kleurscores voor beoordelingscriteria van reductiemaatregelen.

Beschikbare gegevens	Van deze maatregel zijn voldoende gegevens beschikbaar om tot een beoordeling te kunnen komen	Van deze maatregel zijn beperkt gegevens beschikbaar om tot een beoordeling te kunnen komen	Van deze maatregel zijn onvoldoende gegevens beschikbaar om tot een beoordeling te kunnen komen
Implementatie	Deze maatregel is momenteel geschikt voor implementatie in de praktijk	Deze maatregel is op onderdelen geschikt voor implementatie in de praktijk of vraagt nog enige ontwikkeling	Deze maatregel is nog niet geschikt voor implementatie in de praktijk
Eindoordeel	Perspectiefvol	Weinig perspectief of op onderdelen perspectiefvol	Geen perspectief
Verdere uitwerking	Deze maatregel verder uitwerken	Deze maatregel op onderdelen verder uitwerken	Deze maatregel op dit moment <i>niet</i> verder uitwerken

Tabel 9.2

Scores van de reductiemaatregelen op beoordelingscriteria

Hoofdstuk	Maatregel	Beschikbare gegevens	Implementatie	Eindoordeel	Verder uitwerken
3	Aangepaste roostervloer				
4	Optimalisatie mestschuif				
5	Koeling van mest				
6	Verdunnen en spoelen				
7	Afdekken van mestoppervlak				
8	Partiële reiniging stallucht				

9.1 Aangepaste roostervloer

De drie behandelde varianten op de bestaande roostervloer waren het aanbrengen van alternatief materiaal, het aanbrengen van (hellende) profilering of het plaatsten van een roostervloer onder helling en het toepassen van kleppen of flappen in spleetafsluitingen. In huisvestingssysteem A1.9 en A1.10 wordt rubber op roosterbalken toegepast, in huisvestingssysteem A1.13 wordt rubber en beton afgewisseld en in huisvestingssysteem A1.27 wordt een systeem beschreven waarin groeven of een helling wordt toegepast op een roostervloer. Al deze systemen hebben een voorlopige emissiefactor en worden of kunnen ook worden uitgevoerd met kleppen of flappen die de roosterspleten afsluiten. Deze

kleppen of flappen maken ook onderdeel uit van andere systeembeschrijvingen die niet op een roostervloer zijn gebaseerd. De uitvoering van het rubber in de genoemde systeembeschrijvingen is verschillend. Van afleiding van een emissiefactor van andere diercategorieën is hierbij geen sprake. Aanbevolen wordt om wat betreft het effect van rubber en groeven of helling de resultaten van de stalmetingen af te wachten die uitgevoerd moeten worden om een definitieve emissiefactor te verkrijgen en de effectiviteit van de kleppen en flappen om de (rooster)spleten af te sluiten en de werking daarvan op de langere termijn te laten onderzoeken.

9.2 Optimalisatie van mestschuif

Het aanpassen van het ontwerp van de schuif aan de vloer is een samenspel van vloer- en schuifleverancier en de eerste verantwoordelijkheid van (één van) beiden. Wanneer het ontwerp van vloer en schuif op elkaar worden afgestemd kan voor de combinatie een verzoek tot opname in de Rav worden gedaan. Dat beperkt de keuzevrijheid van de veehouder wat betreft de schuif bij keuze voor dat vloertype maar leidt waarschijnlijk tot een lagere emissie. Ook ontwikkeling van andere reinigingsmethoden zoals borstelen is in eerste instantie een verantwoordelijkheid van bijvoorbeeld een vloer- of schuivenleverancier. Aanbevolen wordt een eventuele ontwikkeling van een andere reinigingsmethode of de gecombineerde ontwikkeling van een vloer met een aangepaste schuif door een marktpartij af te wachten.

Anders ligt het voor het effect van andere schuifaanpassingen zoals schuiffrequentie, gebruik van zachtere schuifbladen of het toediening van kleine hoeveelheden water. Deze aanpassingen zijn te realiseren in bestaande stallen met bestaande techniek. Aanbevolen wordt om het effect van deze maatregelen op de ammoniakemissie verder te onderzoeken.

9.3 Koeling van mest

Omdat de verhouding tussen kelderemissie en vloeremissie in een melkveeststal voor zover bekend anders is dan in een varkensstal en omdat de temperatuurreductie door koeling in een varkensstal groter kan zijn dan in een melkveeststal is het reductieperspectief bij toepassing in melkveeststallen kleiner. Het effect van een verlaging van de mesttemperatuur van 15 °C naar 10 °C levert in het ammoniakemissie model 'Snelstal' een reductie van de stalemissie van 20% op. Bij toepassing van mestkoeling in een melkveeststal met betonnen roostervloer en kelderopslag lijkt dat het maximaal haalbare effect. Toepassing bij andere (dichte) vloertypen ligt minder voor de hand omdat daarbij de kelderbijdrage lager mag worden verondersteld. Gecombineerd met de complexiteit van aanleg in melkveeststallen wordt deze optie als weinig perspectiefvol gezien. Aanbevolen wordt een eventuele ontwikkeling van een dergelijk koelsysteem voor de melkveehouderij door een marktpartij af te wachten.

9.4 Spoelen en verdunnen

Spoelen van de loopvloer is nu al in bepaalde gevallen opgenomen in bijlage 1 in de Rav. Daaraan zijn echter beperkende voorwaarden verbonden die maken dat de maatregel niet of nauwelijks wordt toegepast in de praktijk. Spoelen maakt ook onderdeel uit van andere systeembeschrijvingen maar is dan alleen in combinatie met een bepaalde loopvloer in te zetten. Voorstel is om toepassing van spoelen als additionele maatregel bij alle in de Rav categorie A1 opgenomen huisvestingssystemen mogelijk te maken en zo een extra emissiereductie van 15% te realiseren. Voor de voorwaarden waaronder dat toegestaan is zouden de uitvoeringseisen conform BWL 2001.28 gehanteerd kunnen worden. Ook het waterverbruik (10 liter per m² per dag) zou daaruit overgenomen kunnen worden. Dit voorstel komt overeen met de factsheet die de Proeftuin Overijssel Natura 2000 geformuleerd heeft. Controle en handhaving zou kunnen plaatsvinden door inspectie van de technische installatie (aanwezigheid en functioneren van spoelleidingen) en vastlegging van het waterverbruik met een automatisch loggende watermeter. Deze meters zijn op de markt beschikbaar en eventueel ook op afstand uit te lezen. Nieuwe (aanvullende) metingen moeten het effect op de ammoniakemissie van

spoelen op zowel roostervloeren als dichte vloeren bij nu gebruikelijke vloertypen en groter beschikbaar oppervlak per dier moeten aantonen. Aanbevolen wordt om deze metingen te laten uitvoeren.

9.5 Afdekking mestoppervlak

Afdekking van het mestoppervlak met drijvende ballen is in de varkenshouderij een emissiereducerende techniek (D4.1). Door een andere verhouding tussen kelder- en vloeremissie, afwijkend mestgedrag en een andere mestsamstelling en –eigenschappen is het waarschijnlijk dat het gebruik van deze ballen bij melkvee zal leiden tot een lagere reductie van de ammoniakemissie. Indicatieve metingen laten dat ook zien. Aanbevolen wordt om een verdere onderbouwing van het reductie effect af te laten hangen van een eventuele proefstalaanvraag door een marktpartij. De reductie van andere manieren van afdekking (stro of olie) is ook eerder aangetoond. Vanwege voorziene problemen bij de handhaving van deze maatregelen is het niet tot een officiële erkenning van deze maatregelen gekomen. In die situatie is geen verandering gekomen. Tenzij er zich nieuwe inzichten voordoen wordt aanbevolen deze maatregel niet verder uit te werken.

9.6 Partiële reiniging stallucht

Er zijn verschillende marktpartijen betrokken bij de ontwikkeling van een systeem voor partiële reiniging van stallucht (kelderafzuiging) in zowel de varkenshouderij als de melkveehouderij. Aanbevolen wordt om deze ontwikkeling af te wachten. Wanneer deze ontwikkeling uiteindelijk resulteert in een proefstalaanvraag zal de ammoniakemissie van deze stallen met partiële reiniging van de stallucht gemeten worden.

Literatuur

- Anderson, M. (1995). Ammonia volatilization from cow and pig manure: results from laboratory studies with a new climate pig chamber. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of agricultural biosystems and technology. Report 98. Alnarp.
- Anderson, M. (1996). Performance of bedding materials in affecting ammonia from pig manure. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 65, No. 3.
- Bicudo, J.R., J.J. Classen, C.D. Goldsmith Jr., en R. Smith (1999). Reduction of nutrient and odor in swine manure with sequencing batch treatment and intermitted aeration. ASAE paper No 99-4049.
- Bleijenberg, R., W.J. de Boer, en W. Kroodsma (1994). 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.
- Bode, M.J.C. de (1990a). Emissie van ammoniak en geur uit mestilo's en de vermindering van emissie door afdekking: deel 2 Rundermengmest. IMAG nota 465.
- Bode, M.J.C. de (1990b). Vermindering van ammoniakemissie door korstvorming op rundveemengmest. IMAG nota 462.
- Boer, W.J. de, A. Keen, en 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.
- Derikx, P.J.L., A.J.A. Aarnink, P. Hoeksma, en H.C. Willers (1995). Vermindering van ammoniakemissie uit mest door een vloeibare afdeklaag. IMAG-rapport 95-8.
- Dooren, H.J.C. van, en M.C.J. Smits (2009). Kelderlucht afzuigen uit melkveestallen lijkt perspectiefvol. *V-Focus*, Juni 2009, pp. 14-16.
- Dooren, H.J.C. van, K. Blanken, H. Gunnink, en S. Bokma (2008). Oriënterende metingen van ammoniakemissie bij balansballen voor melkvee. Wageningen UR Livestock Research Vertrouwelijk Rapport 139.
- Dooren, H.J.C. van (2009) Meten aan balansballen en comfort slat mats, *V-Focus*, Augustus 2009, pp. 18-20.
- Elzing, A., D. Swierstra, G.H. Uenk, en W. Kroodsma (1992). Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een rundveestal: de invloed van vloervarianten. IMAG-DLO rapport 92-10.
- Gustafsson, G., K.H. Jeppsson, J. Hultgren, en J.O. Sanno (2005). Techniques to reduce the ammonia release from a cowshed with tied dairy cattle. *Agricultural Engineering International: the CIGR EJournal*. Manuscript BC 04010, vol. VII.
- Huis in 't Veld, J.W.H., W. Kroodsma, en W.J. de Boer (1994a). Vermindering ammoniakemissie uit een ligboxenstal door spoelen van een hellende betonvloer, IMAG-DLO rapport 94-4.
- Huis in 't Veld, J.W.H., W.J. de Boer, en W. Kroodsma (1994b). Ammoniakemissiereductie door spoelen van een hellende, gecoate betonvloer in een rundveestal. IMAG-DLO rapport 94-7.
- Kant, P.P.H., M.C. Verboon, en 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.
- Kant, P.P.H., en N. Middelkoop (1994). Afwerklaag op een hellende vloer vermindert ammoniakemissie. *Praktijkonderzoek* 94-1.
- 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).
- Korevaar, H., K.W. van der Hoek, en 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.
- Kroodsma, W., J.W.H. Huis in 't Veld, en R. Scholtens (1993). Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing. *Livestock Production Science*, 35(3-4), 293-302.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, en S. Bokma (2009). Ammoniakemissie en emissiereductie van het balansballensysteem bij vleesvarkens. Wageningen UR Livestock Research Vertrouwelijk Rapport 193.

-
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, A. Winkel, J.W.H. Huis in 't Veld, F.A. Gerrits, N.W.M. Ogink, en A.J.A. Aarnink (2010). Fijnstofemissie uit stallen: melkvee. Wageningen UR Livestock Research Rapport 296.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't veld, J.P.M. Ploegaert, en N.W.M. Ogink (2012a). Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen UR Livestock Research Rapport 598.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't veld, J.P.M. Ploegaert, en N.W.M. Ogink (2012b). Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen UR Livestock Research Rapport 610.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in 't veld, J.P.M. Ploegaert, en N.W.M. Ogink (2012c). Emissies uit een ligboxenstal voor melkvee met roostervloer voorzien van een bolle rubber toplaag en afdichtflappen in de roosterspleten. Meetprogramma Integraal Duurzame Stallen. Wageningen UR Livestock Research Rapport 612.
- Ogink N.W.M., en W. Kroodsma (1996). Reduction of ammonia emission from a cow cubicle house by flushing with water or a formalin solution. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63(3), 197–204.
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera, en J.M.G. Hol (2013). Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013. *Wageningen UR Livestock Research Rapport 726*.
- Oosthoek, J. (1993). Ammoniakemissiemetingen aan silo's met en zonder strokorst. IMAG-nota P93-7.
- Rom, H.B., F. Moller, P.J. Dahl, en M. Levring (2000). Diet composition and modified climatic properties: means to reduce ammonia emissions in fattening pig units. In Conference proceeding: Second International conference on Air Pollution from Agricultural Operations. Des Moines, Iowa. P.384-390.
- Rong, L., D. Liu, E.F. Pedersen, G. Zhang (2014) Effect of climat parameter on air exchange rate and ammonia and methane emissions from a hybrid ventilated dairy cow building, *Energy and Buildings* 82, 632-643
- Smits, M.C.J., J.B. Campen, en J.W.H. Huis in 't Veld (2008). Emissiereductie door kelderluchtbehandeling in een vleeskalverstal. *Animal Sciences Group Rapport 179*.
- Smits, M.C.J., W. Kroodsma, D. Swiersta, W.J. de Boer (1993) Opzet van het onderzoek inzake beperking van de ammoniakemissie in de Milieu-onderzoekstal voor rundvee, Rapport 93-8, IMAG-DLO, Wageningen, 32 p.
- Swierstra, D., R. Bleijenberg, en 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.
- Verboon, M.C., F. Mandersloot, en H. Gunnink (1992). Strokorst in mestsilos. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij Publicatie 77.
- Voermans, J. A.M., N.C. Verdoes, en J. J. J. Smeets (1996). Possibilities of ammonia reduction of sow farms. In Conference proceeding: International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations. Kansas City, Missouri. Ames, IA: Mid West Plan Service. P119-125.
- Xue, S.K., en S. Chen (1999). Surface oxidation for reducing ammonia and hydrogen sulfide from dairy manure storage. *Transactions of the ASAE*, 42(5), 1401-1408.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen UR Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wageningenUR.nl/livestockresearch

Wageningen UR Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

