

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 750

Deskstudie naar maatregelen ter vermindering van broeikasgasemissies uit varkens- en pluimveestallen

Maart 2013



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Deze studie is uitgevoerd in het kader van het project BoerenKlimaat.nl, onderdeel van het Beleidsondersteunend Onderzoeksprogramma 'Klimaatneutraal produceren' (BO-12.12-005) van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I)

Colofon

Uitgever

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

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2013

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

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research (formeel ASG Veehouderij BV) aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research, formeel 'ASG Veehouderij BV', vormt samen met het Centraal Veterinair Instituut en het Departement Dierwetenschappen van Wageningen Universiteit de Animal Sciences Group van Wageningen UR. 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 gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

In this desk study, twelve measures were evaluated for their ability to reduce greenhouse gas (GHG) emissions from pig and poultry houses. A number of measures show good perspective for GHG reduction in animal houses, but an integral analysis, including the complete manure chain and all relevant components, is needed to determine the true perspective of these measures.

Keywords

Pigs, poultry, greenhouse gasses, methane, nitrous oxide, mitigation

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

J. Mosquera
C.M. Groenestein
M. Timmerman
A.J.A. Aarnink
A. Winkel

Titel

Deskstudie naar maatregelen ter vermindering van broeikasgasemissies uit varkens- en pluimveestallen

Rapport 750

Samenvatting

In deze deskstudie is het perspectief bepaald van een twaalfstal potentiële maatregelen ter vermindering van broeikasgasemissies uit varkens- en pluimveestallen. Hoewel een aantal maatregelen perspectiefvol lijkt t.a.v. emissies uit stallen, is een integrale analyse van de gehele mestketen en alle milieucomponenten noodzakelijk om de werkelijke milieuwinst vast te stellen.

Trefwoorden

Varkens, pluimvee, broeikasgassen, methaan, lachgas, reductie



Rapport 750

Deskstudie naar maatregelen ter vermindering van broeikasgasemissies uit varkens- en pluimveestallen

Desk study on measures to reduce greenhouse gas emissions from pig and poultry houses

J. Mosquera
C.M. Groenestein
M. Timmerman
A.J.A. Aarnink
A. Winkel

Maart 2013

Samenvatting

In het netwerk BoerenKlimaat.nl werken gedurende de periode 2010 tot en met 2013 zestien praktijkbedrijven, waaronder vier varkensbedrijven en vier pluimveebedrijven, samen met Wageningen UR en Louis Bolk Instituut aan een klimaatneutrale bedrijfsvoering. Om een klimaatneutrale bedrijfsvoering dichterbij te brengen zijn maatregelen op verschillende terreinen nodig, zoals het zuinig omgaan met energie, de productie van duurzame energie, het verminderen van de emissies van methaan en lachgas en het waar mogelijk werken aan het vergroten van de vastlegging van CO₂ op het eigen bedrijf.

In het kader van dit project is in deze deskstudie verkend welke maatregelen genomen kunnen worden om de emissie van methaan en lachgas uit dierlijke mest (zowel vaste mest als drijfmest) vanuit varkens- en pluimveestallen te verminderen. Daartoe is een literatuurstudie uitgevoerd en zijn voor enkele maatregelen verkennende berekeningen uitgevoerd met het model MESPRO teneinde effecten van deze maatregelen op de methaanemissie in te schatten. Met de inzichten uit dit rapport worden oplossingsrichtingen aangedragen die kunnen bijdragen aan het verlagen van de broeikasgasemissies op de veehouderijbedrijven in dit project.

Uit deze studie blijkt in de eerste plaats dat er voor veel maatregelen onvoldoende onderzoeksgegevens beschikbaar zijn om het perspectief met zekerheid in te schatten of te kwantificeren. In andere gevallen zijn wel onderzoeksgegevens voorhanden, maar laten deze een zeer wisselend beeld zien: het gebrek aan reproduceerbaarheid van het gevonden effect duidt bij deze maatregelen meestal op een sterke afhankelijkheid van overige factoren in het bedrijfsmanagement. Tot slot geven sommige maatregelen een gunstig beeld t.a.v. het ene broeikasgas, maar een ongunstig beeld t.a.v. het andere.

Perspectiefvolle maatregelen lijken het **afdekken van mest**, het **kort opslaan van mest in de stal**, het **koelen van mest**, het **schoonmaken van geleegde mestkelders**, en **mestvergisting/-scheiding**. Deze maatregelen lijken perspectiefvol voor wat betreft het verlagen van broeikasgasemissies uit varkens- of pluimveestallen. Om echter een integraal beeld te krijgen van de daadwerkelijke milieuwinst van deze maatregelen is het noodzakelijk om - naast broeikasgassen - ook effecten op andere milieucomponenten (geur, ammoniak, fijnstof) en op andere plekken in de mestketen (mestopslag, mesttoediening) in ogenschouw te nemen.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

1	Inleiding	1
2	Theoretische achtergrond.....	2
	2.1 Processen	2
	2.2 Factoren	2
	2.2.1 Dierfactoren	3
	2.2.2 Mesteigenschappen.....	3
	2.2.3 Omgevingsfactoren.....	4
3	Maatregelen	5
	3.1 Achtergrond.....	5
	3.2 Voersamenstelling aanpassen.....	6
	3.3 Mest in stro voorkomen.....	6
	3.4 Mest afdekken.....	8
	3.5 Mest kort opslaan in de stal	9
	3.6 Mest koelen	11
	3.7 Aerobe mestopslag	12
	3.8 Toevoegmiddelen mest.....	13
	3.9 Mest verdunnen	13
	3.10 Affakkelen	14
	3.11 Mestputten na legen schoonmaken	15
	3.12 Mestvergisting en mestscheiding.....	15
4	Conclusies	18
5	Literatuur	19

1 Inleiding

Het wereldwijde klimaat verandert door toedoen van de mens. Door de uitstoot van broeikasgassen wordt het natuurlijke broeikaseffect versterkt en stijgt onder meer de temperatuur op aarde. Het versterkte broeikaseffect op aarde wordt met name veroorzaakt door hoge concentraties van koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) in de atmosfeer. De CO₂-concentraties in de lucht nemen vooral toe door de verbranding van fossiele brandstoffen en, in mindere mate, door veranderd landgebruik zoals ontbossing. De toename van de concentraties van de belangrijkste overige broeikasgassen, lachgas en methaan, hangt sterk samen met activiteiten in de landbouw.

In het netwerk BoerenKlimaat.nl werken gedurende de periode 2010 tot en met 2013 16 praktijkbedrijven samen met Wageningen UR (Universiteit & Research centre) en Louis Bolk Instituut aan een klimaatneutrale bedrijfsvoering. De 16 bedrijven zijn gangbare en biologische bedrijven uit de akkerbouw, de varkens- en de pluimveehouderij. Om een klimaatneutrale bedrijfsvoering dichterbij te brengen zijn maatregelen op verschillende terreinen nodig, zoals het zuinig omgaan met energie, de productie van duurzame energie, het verminderen van de emissies van methaan en lachgas en het waar mogelijk werken aan het vergroten van de vastlegging van CO₂ op het eigen bedrijf.

In het kader van het project BoerenKlimaat.nl is in deze deskstudie verkend welke maatregelen genomen kunnen worden om de emissie van methaan en lachgas uit dierlijke mest (zowel vaste mest als drijfmest) vanuit varkens- en pluimveestallen te verminderen. Daartoe is een literatuurstudie uitgevoerd en zijn voor enkele maatregelen verkennende berekeningen uitgevoerd met het model MESPRO teneinde effecten van deze maatregelen op de methaanemissie in te schatten. Met de inzichten uit dit rapport worden oplossingsrichtingen aangedragen die kunnen bijdragen aan het verlagen van de broeikasgasemissies op de veehouderijbedrijven in dit project.

In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt eerst kort de theoretische achtergrond geschetst van processen en factoren die een rol spelen bij de emissie van methaan en lachgas uit dierlijke mest en uit stallen. In hoofdstuk 3 worden 12 verschillende oplossingsrichtingen besproken aan de hand van literatuur en modelberekeningen. Het rapport sluit in hoofdstuk 4 af met de conclusies die hieruit getrokken worden.

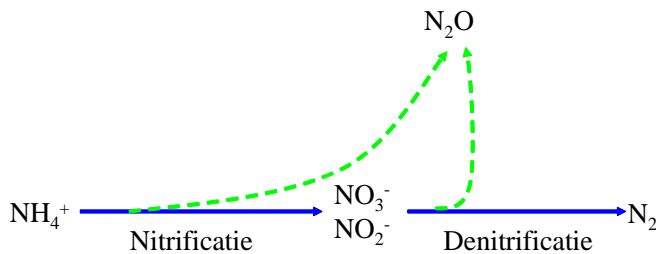
2 Theoretische achtergrond

In dit hoofdstuk worden de processen en factoren die de emissie van lachgas en methaan kunnen beïnvloeden kort beschreven.

2.1 Processen

De belangrijkste bronnen van lachgas (N_2O) emissies uit de landbouw (Maas e.a., 2011) zijn directe emissies uit de bodem na het toedienen van dierlijke mest/kunstmest (51%), en indirecte bodememissies veroorzaakt door N-uitspoeling en NH_3 -depositie (33%), met een kleinere bijdrage van mestmanagement van dierlijke mest (10%) en mestproductie in de weide (6%).

Lachgas (N_2O) wordt voornamelijk geproduceerd via de microbiële processen nitrificatie en denitrificatie (Figuur 1). Bij nitrificatie wordt ammoniumstikstof (NH_4^+ -N) onder zuurstofrijke omstandigheden omgezet in nitraat/nitriet (NO_3^-/NO_2^-). Bij denitrificatie wordt NO_3^-/NO_2^- onder zuurstofarme omstandigheden omgezet in N_2 . Wanneer de omstandigheden suboptimaal zijn zullen de processen niet compleet kunnen verlopen waardoor N_2O geproduceerd kan worden.



Figuur 1 N_2O -productie via de processen nitrificatie en denitrificatie

Methaan (CH_4) wordt gevormd door afbraak van organische stof onder anaerobe omstandigheden. De belangrijkste bronnen van CH_4 -emissies uit de landbouw zijn pens- en darmfermentatie (endogene productie, uit het dier), verantwoordelijke voor 70% van de totale uitstoot van CH_4 uit de landbouw, en emissies uit de mest (30%).

2.2 Factoren

Tabel 1 geeft de sleutelfactoren weer die van invloed zijn op de emissies van methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) uit mest. De meeste factoren hebben invloed op de emissies van beide gassen, maar de schaal en de richting van het effect verschillen. Een voorbeeld hiervan is het effect van de pH, zowel CH_4 als N_2O worden hierdoor beïnvloed, maar de optimale pH voor N_2O productie is 6-7, die voor de CH_4 -productie is 7-8. Zonder zuurstof zal NH_4^+ niet oxideren tot NO_3^- (nitrificatie), maar met zuurstof zal methanogenese (productie van methaan door microben) niet plaatsvinden. Er is bovendien interactie tussen de productie van de gassen. De methanogenese zal bijvoorbeeld afnemen bij toenemende NH_4^+ concentratie (Hashimoto, 1986).

Tabel 1 Sleutelfactoren die de emissie van N₂O en CH₄ kunnen beïnvloeden (uit Aarnink, 1997; Jun e.a., 1999; Monteny, 2000). + betekent een positieve correlatie, - betekent een negatieve correlatie, 0 betekent geen relevant effect wanneer de sleutelfactor toeneemt. Een cijfer in de kolom voor pH duidt op een optimale pH

	N ₂ O	CH ₄
Dierfactoren		
Dierlijke massa (leeftijd/gewicht)	+	+
Hoeveelheid en samenstelling voer	+	+
Mesteigenschappen		
Mestsamenstelling		
NH ₄ ⁺ -concentratie	+	-
pH	6	7
Organisch stofgehalte	0	+
Drogestofgehalte	0	-
C/N-ratio	+	+
O ₂ -concentratie	+/-	-
Mestoppervlakte	0	0
Leeftijd mest / Opslagtijd	+	+
Mesttemperatuur	+	+
Omgevingsfactoren		
Stalinrichting	+/-	+/-
Lucht-/windsnelheid	0	0
Temperatuur binnenlucht	+	+
Temperatuur buitenlucht	+	+

2.2.1 Dierfactoren

Een indirect effect van de toename van de dierlijke massa in de stal is een grotere mestproductie, waardoor meer N-, C- en stofcomponenten in de stal terecht zullen komen. Dit zal resulteren in een hogere emissie van N₂O en CH₄ uit de stal. Een toename van de dierlijke massa in de stal resulteert in een stijging van de dierlijke warmteproductie, met als gevolg een hogere staltemperatuur of een hogere ventilatie om de gewenste staltemperatuur te handhaven. Dit zal toe leiden tot een hogere emissie van N₂O en CH₄ uit de stal.

Voersamenstelling heeft een direct effect op de emissies van CH₄ uit het dier. Een hogere ruwe celstofgehalte van het voer zal leiden tot een lagere verteerbaarheid van de organische stof, waardoor de endogene CH₄-emissie zal toenemen (Crutzen e.a., 1986; Rijnen, 2003). Voersamenstelling heeft ook een effect op de mestsamenstelling en daardoor een indirect effect op de emissies van N₂O en CH₄. Wanneer het voer veel eiwit bevat, zal de N- en TAN-excretie toenemen. Dit kan leiden tot een hogere N₂O emissie

2.2.2 Mesteigenschappen

Mestsamenstelling heeft een direct effect op de emissies van N₂O en CH₄. De activiteit van de microbiële populatie in de mest die verantwoordelijk is voor de vorming van N₂O en CH₄ is afhankelijk van de concentratie aan (minerale) stikstof en organische stof, de pH, de drogestofgehalte en de beschikbaarheid van zuurstof in de mest (Jun e.a., 1999; Groenestein, 2006). De beschikbaarheid van meer NH₄⁺ in de mest zal leiden tot hogere emissies van N₂O (NH₄⁺ wordt door de microbiële populatie in de mest als substraat gebruikt voor N₂O-productie) en lagere emissies van CH₄ (CH₄-productie wordt geremd door de aanwezigheid van NH₃) bij opslag en toediening. De optimale pH voor N₂O productie ligt tussen 6-7, voor CH₄ tussen 7-8. De concentratie aan organische stof in de mest is vooral van invloed op de CH₄-emissie. Het zuurstofgehalte in de mest heeft een direct effect op de productie van N₂O en CH₄ in de mest. CH₄ wordt onder anaerobe omstandigheden gevormd, voor N₂O zijn aerobe omstandigheden nodig voor nitrificatie, en zuurstofarme omstandigheden voor denitrificatie.

De emissies van N_2O en CH_4 zijn indirect gerelateerd aan het mestoppervlak voor vaste mest. Door het contactoppervlak tussen lucht en vaste mest te vergroten zal meer O_2 beschikbaar komen voor de productie van N_2O . Deze aerobe omstandigheden zullen de emissie van CH_4 verlagen. Voor drijfmest is het mestoppervlak niet van belang voor de emissies van CH_4 en N_2O .

De leeftijd van de mest heeft een indirect effect op de emissie van N_2O en CH_4 . Hoe ouder de mest hoe meer microben in de mest zullen ontstaan, met name wanneer mest ouder is dan circa een maand. Hierdoor kan de productie van N_2O en CH_4 toenemen.

De omzettingen in de mest die leiden tot emissies van N_2O en CH_4 zijn chemische en biologische processen. Over het algemeen verlopen deze processen sneller bij een verhoging van de (mest) temperatuur. De mesttemperatuur is vooral afhankelijk van de temperatuur van de omgeving. De effecten van mesttemperatuur op de emissies zijn dus indirect.

2.2.3 *Omgevingsfactoren*

Omgevingsfactoren zoals de luchtsnelheid langs de emitterende oppervlakte en de temperatuur (binnen en buiten) hebben een direct effect op de emissies van N_2O en CH_4 . Deze factoren kunnen indirect worden beïnvloed door de keuze van stalrichting. De productie van N_2O en CH_4 wordt niet direct beïnvloed door de luchtsnelheid langs de emitterende oppervlakte. N_2O en CH_4 zijn niet oplosbaar in water en daardoor niet afhankelijk van een evenwicht tussen waterfase en luchtfase. Echter, meer luchtbeweging kan resulteren in een grotere beschikbaarheid van zuurstof. Dit kan leiden tot een hogere N_2O emissie, en tot een verlaging van de CH_4 -emissie.

De temperatuur heeft een positieve invloed op alle biologische processen. Dit betekent dat de emissies hoger zullen zijn bij hogere omgevingstemperaturen (Muck en Steenhuis, 1981; Elzing en Monteny, 1997a,b; Generemont en Cellier, 1997; Huijsmans e.a., 2001, 2003; Sogaard e.a., 2002; Bussink e.a., 1994; Verdoes en Ogink, 1997).

3 Maatregelen

3.1 Achtergrond

Varkensbedrijven hebben over het algemeen drijfmest (mengmest). Uitzondering zijn bedrijven met dragende zeugen op stro en biologische bedrijven. Pluimveebedrijven hebben over het algemeen vaste mest. Hierdoor zullen de maatregelen per sector anders uitpakken. Wat voor de ene sector een makkelijk toepasbare maatregel is kan voor de andere sector een lastig uitvoerbare maatregel zijn (Tabel 2).

Een belangrijk punt bij zowel methaan- als lachgasemissie (i.t.t. ammoniakemissie) is dat het een resultaat is van voornamelijk biologische processen. In het maagdkanaal en in de mest zorgen micro-organismen hiervoor. Bij biologische processen spelen de omstandigheden (bijv. temperatuur en pH) een grote rol in het juist wel of juist niet verlopen van deze processen. Tevens is er interactie tussen verschillende biologische processen. Zo kan bijvoorbeeld azijnzuur in de mest door methanogene micro-organismen worden omgezet in methaan wat leidt tot methaanemissie, echter hetzelfde azijnzuur kan ook door sulfaatreducerende micro-organismen worden benut om sulfaat om te zetten in H₂S wat leidt tot H₂S-emissie uit de mest. Kortom; er spelen uiteenlopende factoren een rol.

Een integrale benadering is nodig om de emissies op bedrijfsniveau te kunnen reduceren waarbij rekening dient te worden gehouden met de specifieke bedrijfsomstandigheden.

Tabel 2 Inschatting van de praktische uitvoering van broeikasgasreducerende maatregelen op het varkens- of pluimveebedrijf. “+” is goed uitvoerbaar, “-“ is niet goed uitvoerbaar

Maatregel	Varkens	Pluimvee
Voersamenstelling aanpassen	+	+
Mest in stro voorkomen	+	-
Mest afdekken	+	+
Mest kort opslaan	+	+
Mest koelen	+	+
Aerobe opslag	+	-
Toevoegmiddelen mest	-	-
Mest verdunnen	-	-
Affakkelen	-	-
Mestputten na legen schoonmaken	-	+
Mestvergisting	+	+
Mestscheiding	+	-

De maatregelen zijn ingeschat op praktische uitvoering op een gangbaar bedrijf. Echter de omstandigheden op bedrijven zijn zeer divers. Wat op één bedrijf zeer lastig uitvoerbaar is, kan op een ander bedrijf wel uitvoerbaar zijn. Daarnaast speelt de voorkeur van de veehouder ook een belangrijk rol. Het beste kan aan de hand van de specifieke bedrijfssituatie beoordeeld worden wat de toepasbaarheid (praktisch, economisch, effect, enz.) van een maatregel is. Verder is de praktische uitvoering van een bepaalde maatregel van belang, want als bij sommige maatregelen de uitvoering onvoldoende is, kan een tegengesteld effect ontstaan waardoor er juist meer emissie optreedt i.p.v. minder.

3.2 Voersamenstelling aanpassen

De invloed van voersamenstelling op de methaanemissie heeft zowel een direct (endogene emissie) als indirect (emissie uit de mest) effect. De voersamenstelling beïnvloedt de mestsamenstelling en de daarmee samenhangende emissies vanuit huisvesting (incl. uitloop), buitenopslag en bij het uitrijden van mest. Door de samenstelling van het voer aan te passen is het mogelijk om de vertering van het voer in het maagdarmlkanaal zodanig aan te passen dat er minder emissie plaatsvindt.

Effect

De endogene CH₄-emissie neemt toe als er grotere metabole energetische verliezen optreden, bijvoorbeeld wanneer er meer slecht verteerbare koolhydraten in het voer zitten, de zogenaamde fermenteerbare koolhydraten. Deze verliezen nemen toe bij afnemende verteerbaarheid van de organische stof wat o.a. veroorzaakt wordt door een hoger ruwe celstof gehalte in het voer.

Daar komt bij dat met een hoger ruwe celstof gehalte in het voer meer organische stof in de mest terecht komt wat onder anaerobe omstandigheden kan leiden tot hogere CH₄-emissie. Echter de samenstelling van deze organische stof is ook van invloed op de hoogte van de CH₄-emissie. Zo wordt bijvoorbeeld lignine niet omgezet in methaan. Ook zijn de omstandigheden (o.a. temperatuur, pH, drogestofgehalte) waaronder de mest wordt opgeslagen van invloed op de hoogte van de CH₄-emissie.

Het effect van de voersamenstelling op de N₂O-emissie is alleen een indirect effect. De invloed hangt af van het eiwitgehalte en -samenstelling in het voer, waarbij ook de organische stof in het voer een rol speelt. De lachgasemissie vanuit drijfmest wordt bij opslag onder anaerobe omstandigheden verwaarloosbaar verondersteld, maar zodra handelingen worden verricht waarbij zuurstof in de mest terecht komt (bijv. beluchting of toevoeging van spuiwater uit een biologische wasser) zal de N-emissie (en daarmee ook N₂O) toenemen, mits de omstandigheden geschikt zijn voor microbiële omzetting.

Het effect hangt sterk af van wat er vervolgens gedaan wordt met de mest. Bijvoorbeeld: het voer kan beter verteerbaar worden gemaakt, waardoor endogene methaanverliezen beperkt worden, maar daardoor komen ook makkelijk omzetbare koolhydraten in de mest terecht die onder anaerobe omstandigheden vervolgens makkelijk door micro-organismen worden omgezet in o.a. methaan.

Kosten

De kosten hangen af van de voermaatregel, diersoort en bedrijfsomstandigheden.

Voordelen

- Toepasbaar bij zowel nieuwe als bestaande bedrijven.

Nadelen

- Extra parameter waarmee in de rantsoenoptimalisatie rekening mee moet worden gehouden. Dit kan de keuze van de grondstoffen beperken waardoor de kosten van het voer in het algemeen toenemen.
- Voeraanpassing is een complexe maatregel doordat het veel indirecte effecten heeft.

3.3 Mest in stro voorkomen

Door de combinatie van mest en stro wordt de C/N-verhouding verhoogd wat gunstiger is voor de methaanemissie als het een anaeroob milieu betreft. Dit kan bijvoorbeeld plaatsvinden als strooisel in de mestput terechtkomt, waarbij het dan weer de vraag is in hoeverre het strooisel zich dan daadwerkelijk mengt met de drijfmest om de juiste omstandigheden te creëren voor omzetting door de micro-organismen. Bij vaste mest kunnen anaerobe omstandigheden optreden als verdichting van de mest plaatsvindt bij bijvoorbeeld looppaden van dieren, waarbij het dan wel de vraag is in welke mate daadwerkelijk de organische stof kan worden omgezet in methaan want aan andere randvoorwaarden dient ook te worden voldaan (bij natte dichte plekken zal eerder vergisting optreden dan bij droge dichte plekken).

De N₂O-emissie is gerelateerd aan het contactoppervlak tussen lucht en mest omdat bij een hoger contactoppervlak er beter zuurstof kan toetreden die door de micro-organismen kan worden benut voor de vorming van N₂O. In drijfmestssystemen is over het algemeen de toetreding van lucht tot de mest klein waardoor ook de N₂O-emissie gering/verwaarloosbaar is. Bij vaste mestsystemen is er echter wel sprake van een groot contactoppervlak tussen mest en lucht wat verder vergroot kan worden door omwerken door dieren en/of machine. Hierdoor kan in meer of minder mate compostering optreden. Voor N₂O-emissie is de beschikbaarheid van stikstof (N) een voorwaarde, dus als voorkomen wordt dat mest in het stro terecht komt dan wordt ook de kans op N₂O-emissie verminderd.

Door het mestgedrag van de dieren (varkens) te sturen komt er minder mest terecht in het stro. Het mestgedrag kan worden gestuurd door hokinrichting en management. Bij varkens is het mestgedrag o.m. te sturen door de plek van de drinkbak, wroetbak, ruwvoerbak en voerbak en logische indeling van het hok in "functiegebieden" voor eten, mesten en rusten. Ook bij kippen is het mestgedrag in enige mate te sturen met water- en voervoorzieningen.

Effect

Doordat minder mest in het stro terecht komt nemen de microbiële omzettingen af, wat leidt tot een lagere emissie. CH₄ emissies uit huisvestingssystemen voor varkens met vaste mest zijn in het algemeen lager en N₂O emissies hoger dan uit systemen met drijfmest (Tabel 3). Dit leidt tot hogere broeikasgasemissies uit systemen met vaste mest vergeleken met systemen met drijfmest. Emissies uit strooiselsystemen met stro zijn in het algemeen lager dan uit andere strooiselsystemen (zaagsel, houtkrullen; Tabel 4).

Tabel 3 Broeikasgasemissies uit vaste mest t.o.v. emissies uit drijfmest

Referentie	Diercategorie	Strooisel	Effect op		
			N ₂ O	CH ₄	BKG
Philippe e.a. (2007)	Vleesvarkens	Stro	+106%	-2%	+29%
Philippe e.a. (2011)	Dragende zeugen	Stro	+383%	-9%	+131%
Cabaraux e.a. (2009)	Biggen	Stro	Toename	-18%	+22%
Cabaraux e.a. (2009)	Biggen	Zaagsel	+3100%	-40%	+343%

N.B. Een negatief cijfer representeert een reductie van de emissie van het broeikasgas

Tabel 4 Broeikasgasemissies uit strooiselsystemen met stro t.o.v. van ander soort strooisel

Referentie	Diercategorie	Strooisel	Effect op		
			N ₂ O	CH ₄	BKG
Nicks e.a. (2003)	Biggen	Stro vs. zaagsel	+286%	-51%	+195%
Nicks e.a. (2004)	Vleesvarkens	Stro vs. zaagsel	+6867%	-33%	+286%
Kaiser (1999)	Vleesvarkens	Stro vs. zaagsel	+7600%	+100%	+667%
Mennicken (1998)	Leghennen	Stro vs. houtkrullen	+259%	+319%	+275%

N.B. Een negatief cijfer representeert een reductie van de emissie van het broeikasgas

Kosten

De kosten hangen sterk af van de mate waarin de hokinrichting aangepast moet worden en/of welke managementmaatregelen genomen moeten worden om een beter mestgedrag te krijgen.

Voordelen

Sto(oisel)systemen zijn in het algemeen nadelig voor de emissies van broeikasgassen. Als ze toegepast worden dan moet voorkomen worden dat het stro(oisel) bevuild wordt met mest. Een goed mestgedrag, dit betekent dat er weinig mest in het stro(oisel) terecht komt, heeft de volgende voordelen:

- Een beter mestgedrag leidt tot minder emissies en geeft daardoor een betere luchtkwaliteit.
- Een beter mestgedrag leidt tot minder hokbevuiling waardoor minder tijd nodig is voor reiniging.
- Een beter mestgedrag geeft minder gezondheidsrisico's.

3.4 Mest afdekken

Door mest af te dekken wordt de uitwisseling tussen het mestoppervlak en de omringende lucht verminderd. Hierdoor kan er minder lucht tot de mest toetreden. In principe zou dit de anaerobe omstandigheden in de mest kunnen bevorderen. Bij drijfmest zal dit niet zoveel uitmaken, omdat dat al een anaeroob milieu is. Echter, het afdekken van vaste mest geeft wel een toename van anaerobe omstandigheden, maar of dan daadwerkelijk extra methaanemissie zal optreden wordt bepaald of in het gecreëerde milieu daadwerkelijk microbiële omzetting van organische stof in methaan plaatsvindt.

Door het afdekken van de mest wordt toetreding van lucht tot de mest gereduceerd waardoor de beschikbaarheid van zuurstof afneemt en daarmee de N₂O-emissie ook zal afnemen. Mest afdekken kan op veel verschillende manieren, bijvoorbeeld door een strodek, balansballen of een drijvende deklaag in de mestsilo. Vaste mest kan worden afgedekt met plastic/zeil. Pluimveemest kan vanuit de stallen via mestbanden naar een afgedekte opslagcontainer worden afgevoerd.

Effect

Het effect is afhankelijk van de methode van afdekking en van de diercategorie (Tabel 5). Voor vaste mest, kwam Yamulki (2006) tot een totale reductie van 42% uit opgeslagen rundveemest uit een traditionele bedrijf, en tot een reductie van 14% bij mest uit een biologische bedrijf. Hansen e.a. (2006) rapporteerde een reductie van 99% in N₂O emissie, 87% in CH₄ emissie, en van 98% in de totale broeikasgasemissies na het afdekken van de dikke fractie van vergiste varkensmest met folie. Chadwick (2005) vond zowel een reductie (tot 33%) als een toename (16%) in broeikasgasemissies na het afdekken van vaste rundveemest met folie. Thorman e.a. (2006) rapporteren zowel een toename als een afname in N₂O emissies tijdens het afdekken (met folie) van pluimveemest.

Tabel 5 In de literatuur gerapporteerde effecten van het afdekken van vaste mest

Afdekking		Effect op			Referentie
		N ₂ O	CH ₄	BKG	
Stro					
Reguliere bedrijven		-42%	-45%	-42%	Yamulki (2006)
Biologische bedrijven		-11%	-50%	-14%	Yamulki (2006)
Plastic folie					
Melkvee, vaste mest	Periode 1	-70%	-6%	-33%	Chadwick (2005)
	Periode 2	+2000%	-81%	-19%	Chadwick (2005)
	Periode 3	-54%	+120%	+116%	Chadwick (2005)
Vergiste varkensmest		-99%	-87%	-98%	Hansen e.a. (2006)
Pluimveemest	Periode 1	-32%	-	-	Thorman e.a. (2006)
	Periode 2	+304%	-	-	Thorman e.a. (2006)

N.B. Een negatief cijfer representeert een reductie van de emissie van het broeikasgas

Wat betreft het afdekken van drijfmest (Tabel 6), vonden Van der Zaag e.a. (2009) na het afdekken van rundveedrijfmest met een dikke laag stro (>15cm) een afname van de CH₄ emissie en een toename van de N₂O emissie, met als resultaat een reductie van 23-24% in broeikasgasemissies. Guarino e.a. (2006) rapporteren een toename in CH₄ emissies wanneer zowel rundvee als varkens drijfmest wordt afgedekt met een dunne laag stro. Na afdekken met een dikkere laag waren de emissies bij rundvee vergelijkbaar en bij varkens 28% lager ten opzichte van een niet afgedekte opslag. Afdekken met een solide dekking (anders dan stro) resulteerde in 27% lagere broeikasgasemissies ten opzichte van afdekking met stro (Amon e.a., 2006). Amon e.a. (2007) rapporteren een reductie in broeikasgasemissies van ca. 50% na afdekken van varkensdrijfmest, terwijl voor rundveedrijfmest lagere reducties (4-16%) zijn gerapporteerd (Clemens e.a., 2006).

Tabel 6 In de literatuur gerapporteerde effecten van het afdekken van drijfmest

Maatregel		Effect op			Referentie
		N ₂ O	CH ₄	BKG	
Strodek					
Rundvee	15 cm	+57%	-25%	-23%	Van der Zaag e.a. (2009)
	30 cm	+100%	-27%	-25%	Van der Zaag e.a. (2009)
	7 cm	-	+37%	-	Guarino e.a. (2006)
	14 cm	-	+3%	-	Guarino e.a. (2006)
Varkens	7 cm	-	+7%	-	Guarino e.a. (2006)
	14 cm	-	-28%	-	Guarino e.a. (2006)
Vast dek					
Varkens	Zomer ¹⁾	+30%	-32%	+5%	Amon e.a. (2007)
	Zomer ²⁾	-4%	-70%	-52%	Amon e.a. (2007)
	Winter ³⁾	-50%	-37%	-48%	Amon e.a. (2007)
Rundvee	Winter	-13%	-14%	-13%	Clemens e.a. (2006)
	Zomer	+20%	-16%	-11%	Clemens e.a. (2006)
Rundvee, vergist	Winter	+2%	-29%	-4%	Clemens e.a. (2006)
	Zomer	-19%	-14%	-16%	Clemens e.a. (2006)

N.B. Een negatief cijfer representeert een reductie van de emissie van het broeikasgas

¹⁾ *Metingen onder warme omstandigheden (gemiddelde mesttemperatuur: 17 °C), gedurende 50 dagen*

²⁾ *Metingen onder warme omstandigheden (gemiddelde mesttemperatuur: 16 °C), gedurende 200 dagen*

³⁾ *Metingen onder koude omstandigheden (gemiddelde mesttemperatuur: 12 °C), gedurende 50 dagen*

Kosten

De kosten hangen af van het type huisvestingsstelsel, mestopslag en methode van afdekken.

Voordelen

- Afdekken is een eenvoudig systeem met weinig technische storingen.

Nadelen

- Afdekken van mest kan leiden tot een verhoogde temperatuur als gevolg van de warmte die ontstaat tijdens compostering. Door ongecontroleerde compostering kunnen extra emissies ontstaan.

3.5 Mest kort opslaan in de stal

Als mest voor langere tijd wordt opgeslagen zal de populatie van microben in de mest toenemen waardoor de CH₄ en N₂O-productie kan toenemen. Als de mest in een externe opslag wordt gebracht neemt de verblijftijd in de mestput in de stal af. De omstandigheden zijn in een externe opslag over het algemeen minder gunstig voor emissies. Tevens is door snellere verwijdering uit de stal mogelijk om de mest te behandelen (bijv. vergisting) om emissies verder te reduceren. Vaste mest kan mogelijk direct naar een afnemer worden afgezet die het verwerkt.

Effect

Het effect is afhankelijk van methode en frequentie van mestverwijdering uit de stal. Amon e.a. (2007) rapporteren een reductie van 51% in broeikasgasemissies na mestverwijdering (na elke ronde) uit een varkensstal. Haeusserman e.a. (2006) concluderen dat een reductie van 40% in CH₄ emissie uit varkensstallen kan worden bereikt wanneer na elke ronde niet alleen de mest uit de stal wordt verwijderd, maar ook de kelder schoongemaakt wordt. Groenestein e.a. (2012) rapporteren reducties van 50-86% in broeikasgasemissies voor varkensstallen na frequent verwijderen van mest uit de stal.

Tabel 7 In de literatuur gerapporteerde effecten van mest kort opslaan in de stal

Maatregel		Effect op			Referentie
		N ₂ O	CH ₄	BKG	
Verwijdering na elke ronde	Varkens	-39%	-56%	-51%	Amon e.a. (2007)
Verwijdering na elke ronde + kelder schoonmaken	Varkens	-	-40%	-	Haeusserman e.a. (2006)
Frequent mest verwijderen	Biggen	0%	-50%	-50%	Groenestein e.a. (2012)
Frequent mest verwijderen	Vleesvarkens	0%	-86%	-86%	Groenestein e.a. (2012)

N.B. Een negatief cijfer representeert een reductie van de emissie van het broeikasgas

Berekeningen met het model MESPRO (Aarnink e.a., 1992) laten zien dat de methaanemissie uit de mengmest bij vleesvarkens lineair toeneemt van ca. 2 naar 15 kg/jaar bij een toename van de opslagperiode van de mengmest van 25 naar 200 dagen. De berekening van de methaanproductie in dit model zijn gebaseerd op empirische relaties die zijn ontwikkeld op basis van data uit het onderzoek naar koude vergisting door Zeeman (1991).

Kosten

De kosten hangen samen met het systeem (bijv. spoelgoten, mestbanden/schuiven, riolering, strooiselsysteem, soort externe mestopslag). De kosten zijn moeilijk algemeen aan te geven vanwege grote verschillen in uitvoeringsvorm, grootte en grondsoort. In KWIN-Veehouderij staan normbedragen voor emissiearme systemen waarbij een snellere en meer volledige afvoer uit de stal mogelijk is:

- Gespeende biggen – opfokhok schuine putwand: investering € 13/dp en jaarkosten € 2/dp
- Kraamzeugen - water-mestkanaal: investering € 190/dp en jaarkosten € 20/dp
- Kraamzeugen – mestpan: investering € 270-295/dp en jaarkosten € 40/dp
- GD-zeugen – schuine putwanden: investering € 100-130 en jaarkosten € 10-15/dp
- Vleesvarkens – schuine putwanden: investering € 30-39 en jaarkosten € 3-5/dp

Voor pluimvee zijn de bedragen voor emissiearm-systemen in KWIN t.o.v. de standaardstal gegeven in meer/minderkosten.

Normbedragen vanuit KWIN-Veehouderij voor kosten van mestopslag.

- Mestkelder: investering € 100-150 per m³, afschrijving 5%, onderhoud + verzekering 1,5%
- Mestsilo: investering € 25-90 per m³, afschrijving 5%, onderhoud + verzekering 2,5%
- Foliebassin: investering € 20-40 per m³, afschrijving 10%, onderhoud + verzekering 3,5%
- Mestzak: investering € 35-70 per m³, afschrijving 10%, onderhoud + verzekering 2,5%.

Voordelen

- Verbetering van het stalklimaat.
- Snelle afvoer van vaste pluimveemest naar een biomassacentrale voorkomt verlies van organische stof in de opslag wat gunstig is voor de verbrandingswaarde.
- Snelle afvoer van vaste pluimveemest naar mestkorrelaars/champost-kwekers vermindert gasvormige stikstofverliezen.

Nadelen

- Snelle en (vrijwel) volledige mestafvoer vanuit stallen is meestal alleen goed in te passen bij nieuwbouw. Bij bestaande bouw hangt het sterk af van de specifieke bedrijfsomstandigheden wat de mogelijkheden zijn.

3.6 Mest koelen

Door mest te koelen daalt de temperatuur van de mest, waardoor de microbiële activiteit wordt verminderd en daarmee de emissies. In de mestput worden drijvende elementen gehangen waar water doorheen stroomt die mest koelt. Bij pluimvee kan bij huisvesting op een vlakke vloer vloerkoeling (-en verwarming) in de vloer worden geïntegreerd.

Effect

Het effect hangt af van de verlaging in temperatuur. Groenestein e.a. (2012) rapporteren voor varkens een reductie van 30-46% in CH₄ emissies na het koelen van mest in de stal (mestkelder) tot een temperatuur van 10 °C (Tabel 8). Deze reducties zijn gebaseerd op een reductie in CH₄ productie van 7% per °C. Dezelfde aanname werd door Sommer e.a. (2004) gebruikt om de reductie in CH₄ productie uit varkensmest opgeslagen in een buitenopslag (met een buitentemperatuur van 10 °C) te bepalen, en komen met een reductie van 31% in CH₄ productie.

Tabel 8 In de literatuur gerapporteerde effecten van mestkoeling

Maatregel		Effect op			Referentie
		N ₂ O	CH ₄	BKG	
Mestkoeling tot 10 °C	Varkens	-	-31%	-	Sommer e.a. (2004)
	Vleesvarkens	-	-43%	-	Groenestein e.a. (2012)
	Kraamzeugen	-	-46%	-	Groenestein e.a. (2012)
	Dragende zeugen	-	-33%	-	Groenestein e.a. (2012)
	Biggen	-	-30%	-	Groenestein e.a. (2012)

N.B. Een negatief cijfer representeert een reductie van de emissie van het broeikasgas

Berekeningen met het MESPRO model (Aarnink e.a., 1992) laten voor vleesvarkens een reductie of een toename zien van de methaanproductie uit de mengmest van ca. 4% per °C verlaging of stijging van de mesttemperatuur, relatief ten opzichte van 18 °C.

Kosten

De kosten hangen af van de staluitvoering en diersoort.

Normbedragen voor het koeldekstelsysteem¹ bij varkens zijn:

- Gespeende biggen: investering € 19 per dierplaats, jaarkosten € 2 per dierplaats
- Kraamzeugen: investering € 19 per dierplaats, jaarkosten € 2 per dierplaats
- Geste en drachtige zeugen: investering € 110 per dierplaats, jaarkosten € 20 per dierplaats
- Vleesvarkens: investering € 27-35 per dierplaats, jaarkosten € 5-6 per dierplaats

Normbedragen voor vloerkoeling bij pluimvee zijn:

- Vleeskuikens: investering € 2,10 per dierplaats, jaarkosten € 0,18 per dierplaats

Voordelen

- De onttrokken warmte aan de mest kan worden ingezet voor verwarmingsdoeleinden.
- Beter stalklimaat door lagere emissies in de stal.

Nadelen

- Kostprijs verhogend.
- Bij pluimvee alleen toepasbaar bij nieuwbouw. Bij varkens hangt af van de bestaande bedrijfsgebouwen of mest koeling mogelijk is op het bedrijf.
- Koeling kan het energiegebruik op het bedrijf verhogen.

¹ Meer informatie over het koeldekstelsysteem is te raadplegen op: http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/ammoniak-en/regeling-ammoniak/stalbeschrijvingen/popups/koeldek_bbt/.

3.7 Aerobe mestopslag

Door plaatsing van beluchtingsbuizen in de mestopslag kan drijfmest worden belucht om aerobe omstandigheden in de mest te creëren waardoor methaanemissie wordt voorkomen. Dit kan worden uitgevoerd als een mestverwerkingsysteem om de aanwezige ammoniak via nitrificatie/denitrificatie om te zetten naar stikstofgas. Echter, wanneer de nitrificatie/denitrificatie proces niet optimaal wordt uitgevoerd kunnen lachgasemissies optreden. Recent brengt de firma Bos Benelux het Aeromix-systeem op de markt wat als doel heeft om de mest te conditioneren middels beluchting om emissies van gassen tegen te gaan en een betere meststof te creëren.

Bij vaste mest betekent aerobe opslag actieve compostering, in tegenstelling met passieve (anaerobe) compostering. Doel van compostering is, door water uit de mest te verwijderen, een vermindering van de mestmassa en het mestvolume te krijgen, waardoor het mestproduct (compost) gemakkelijker te transporteren is. Compostering is een biologisch proces waarbij bepaalde micro-organismen (in aanwezigheid van zuurstof) voor de omzetting van organische stof in stabiele verbindingen zorgen. Tijdens het composteringsproces wordt warmte geproduceerd, waardoor een deel van het water uit de mest verdampt (afname van de mestmassa en -volume) en ziektekiemen worden gedood.

Compostering kan voor alle dikke mestfracties en droge mestsoorten worden toegepast. Mestproducten (compost) worden zowel binnen de landbouw als buiten de landbouw afgezet. Om het eindproduct exportwaardig te maken moet tijdens het composteringsproces gedurende tenminste 60 minuten een temperatuur van 70°C optreden.

Tabel 9 In de literatuur gerapporteerde effecten van aerobe mestopslag

Maatregel		Effect op			Referentie
		N ₂ O	CH ₄	BKG	
Beluchting					
Melkvee, drijfmest		+144%	-57%	-43%	Amon e.a. (2006)
Varkens, drijfmest	Periode 1	-	-99%	-	Martinez e.a. (2003)
	Periode 2	-	-70%	-	Martinez e.a. (2003)
Actief vs. passief composteren					
Melkvee, vaste mest	Zomer	-35%	-90%	-78%	Amon e.a. (2001)
Melkvee, vaste mest	Winter	-41%	+32%	-7%	Amon e.a. (2001)
Melkvee, vaste mest		+44%	-81%	-34%	Pattey e.a. (2005)
Melkvee, vaste mest		+73%	+29%	+36%	Hao e.a. (2001)

N.B. Een negatief cijfer representeert een reductie van de emissie van het broeikasgas

Effect

Amon e.a. (2006) rapporteren een afname in methaanemissie, een toename in lachgasemissie, en een totale reductie van 43% in totale broeikasgasemissies na beluchten van rundvee drijfmest. Martinez e.a. (2003) rapporteren reducties in CH₄-emissie van 70-99% na beluchten van varkens drijfmest. Amon e.a. (2001) rapporteren 7-78% lagere broeikasemissies na actief composteren (beluchten en omzetten opgeslagen vaste mest) ten opzichte van passief composteren. Lopez-Real en Baptista (1996) rapporteren ook lagere CH₄ emissies na actief composteren ten opzichte van passief composteren. Uit de beschikbare data (Tabel 9) kan geconcludeerd worden dat aerobe opslag van vaste mest (actief composteren) over het algemeen tot lagere broeikasgasemissies zal leiden ten opzichte van anaerobe (passief) composteren. Wel moet rekening worden gehouden met een toename in N₂O-emissies (Pattey e.a., 2005; Hao e.a., 2001), met als gevolg een lagere reductie of zelf een toename in broeikasgasemissies.

Kosten

De investeringskosten van het Bos Aeromix hangen sterk af van het aantal en de uitvoering van de mestopslag. De investeringskosten lopen in de tienduizenden euro's en de jaarkosten in de duizenden euro's. Bij compostering hangt het helemaal af van de uitvoeringsvorm: bij extensieve compostering zijn de investeringskosten laag, maar duurt het lang voor het composteringsproces is voltooid. Bij intensieve compostering zijn de kosten hoog, maar duurt het composteringsproces kort.

Voordelen

- Reduceert emissie van CH₄.

Nadelen

- Bij compostering moet mogelijk koolstofbron aangekocht om een goede C/N-verhouding te krijgen.
- Bij slecht management van het composteringsproces nemen de emissies toe.

3.8 Toevoegmiddelen mest

Er is een grote verscheidenheid aan toevoegmiddelen voor mest op de markt. Elke leverancier claimt een goede werking. Echter, bij veel toevoegmiddelen is de werking en effectiviteit niet wetenschappelijke onderbouwd. Er wordt meestal geschermd met in meer of minder mate onderbouwde resultaten op praktijkbedrijven.

Effect

Toevoegmiddelen aan de mest hebben meestal tot doel de chemische evenwichten zodanig te manipuleren dat de ongewenste stof minder gevormd wordt. Martinez e.a. (2003) rapporteren reducties van 47-64% in CH₄ emissie uit varkensmest na gebruik maken van verschillende toevoegmiddelen aan de mest (Tabel 10).

Tabel 10 In de literatuur gerapporteerde effecten van toevoegmiddelen aan mest

Maatregel		Effect op			Referentie
		N ₂ O	CH ₄	BKG	
Toevoegmiddel	NX ₂₃	-	-47%	-	Martinez e.a. (2003)
	Staloston	-	-54%	-	Martinez e.a. (2003)
	Biosuper	-	-64%	-	Martinez e.a. (2003)

N.B. Een negatief cijfer representeert een reductie van de emissie van het broeikasgas

Kosten

De kosten worden o.a. bepaald door: het gebruikte toevoegmiddel, de hoeveelheid die gebruikt moet worden, frequentie van toediening, mestoppervlakte en arbeid.

Voordelen

- Toevoegmiddelen zijn meestal makkelijk toe te voegen aan mest door versproeien over de mest heen.

Nadelen

- Onvoldoende bekend wat het effect is op de emissies.
- Effectiviteit van toevoegmiddelen is vaak omstreden.
- Mest is een complex milieu wat de werking van toevoegmiddelen bemoeilijkt.

3.9 Mest verdunnen

Door verdunnen van de mest daalt de concentratie in mest wat de emissies kan remmen.

Effect

Het effect hangt af van de mate van verdunning. Martinez e.a. (2003) rapporteren reducties van 35% na 50% verdunnen van varkensmest, en van 57% na 67% verdunnen van varkensmest (Tabel 11).

Tabel 11 In de literatuur gerapporteerde effecten van het verdunnen van mest

Maatregel		Effect op			Referentie
		N ₂ O	CH ₄	BKG	
Verdunning	Varken, drijfmest, 50%	-	-35%	-	Martinez e.a. (2003)
	Varken, drijfmest, 67%	-	-57%	-	Martinez e.a. (2003)

N.B. Een negatief cijfer representeert een reductie van de emissie van het broeikasgas

Berekeningen met het MESPRO model (Aarnink e.a., 1992) laten voor vleesvarkens een afname zien van de methaanproductie uit de mengmest van ca. 13% per procentpunt hoger drogestofgehalte van de mest, relatief ten opzichte van een drogestofgehalte van 8%. Bij een lager drogestofgehalte neemt de methaanproductie met eenzelfde percentage toe. Dit effect is vooral gerelateerd aan de positieve relatie tussen het drogestofgehalte van de mest en het ammoniumgehalte. Een verhoging van het ammoniumgehalte geeft een verlaging van de methaanvorming. Bij deze berekening is er van uit gegaan dat de hoeveelheid organische stof in de mengmest gelijk is gebleven en dat de variaties in drogestofgehalte worden veroorzaakt door een hogere of lagere wateropname van de dieren.

Kosten

Kosten hangen af van de herkomst van het water (leiding, bron, restwater) en of extra opslagcapaciteit moeten worden gerealiseerd voor het extra mestvolume.

Voordelen

- Reduceert emissies van NH₃, N₂O, CH₄ en geur. Neutraal t.a.v. emissie van fijn stof.

Nadelen

- Toename mestvolume indien extra water wordt toegediend.
- Toename verwerkingscapaciteit als 'restwater' uit een mestverwerkingsinstallatie wordt gebruikt.
- Kostprijsverhogend.
- Slecht toepasbaar bij vaste mest.

3.10 Affakkelen

De mestopslag wordt gasdicht gemaakt, zodat het geëmitteerde methaan (en andere gassen) naar een fakkelininstallatie kunnen worden geleid. Mogelijk dat bij putafzuiging ook een groot deel van de methaanemissie kan worden afgevangen. Bij de verbranding wordt methaan omgezet in verbrandingsenergie, koolstofdioxide en water. Koolstofdioxide is een minder schadelijk broeikasgas dan methaan waardoor de totale emissie van broeikasgassen afneemt.

Effect

De broeikasgasemissie wordt met een factor 25 verlaagd, omdat methaan een broeikasgasfactor van 25 heeft t.o.v. koolstofdioxide.

Kosten

Er moet worden geïnvesteerd in een gasdichte mestopslag (incl. over/onder-drukbeveiliging) en een fakkelininstallatie (incl. leidingwerk). Voor een 1.000 m³ mestopslag bedragen de investeringskosten € 30.000 met jaarkosten van € 4.800 (Melse, 2003).

Voordelen

- Reduceert NH₃- en CH₄-emissie. Neutraal t.a.v. emissies fijn stof (Groenestein e.a., 2010).

Nadelen

- Onvoldoende bekend wat het effect is op emissie van N₂O en geur (Groenestein e.a., 2010).
- Kostprijsverhogend.
- Energie wordt niet benut bij een fakkelininstallatie.
- Toename geluidshinder door fakkelininstallatie.
- Opvang van gas in mestputten is praktisch moeilijk uitvoerbaar.
- Bij onvolledige verbranding kan er emissie van NO_x plaatsvinden.
- Slecht toepasbaar bij vaste mest opslag.

3.11 Mestputten na legen schoonmaken

Bij het leeg maken van een mestput blijft onder in de mestput altijd een kleine hoeveelheid mest achter die niet kan worden opgezogen. In deze mest zitten bacteriën die actief blijven waardoor de omzettingsprocessen blijven verlopen. Tevens wordt de verse mest die in de mestput terecht komt 'geënt' door oude mest waardoor verse mest sneller emitteert. Vaste mest is eenvoudiger uit de stallen te verwijderen waarbij ook achterblijvende mestresten weggeschept kunnen worden.

Effect

Door het reinigen van de mestputten, na het leeg maken, wordt ook de resterende oude mest onderin de mestput verwijderd waardoor de verse mest niet geënt wordt en minder snel gaat emitteren. Ook bij het verwijderen van vaste mest wordt de 'ent' weggehaald. Haeusserman e.a. (2006) concluderen dat een reductie van 40% in CH₄ emissie uit varkensstallen kan worden bereikt wanneer na elke ronde niet alleen de mest uit de stal wordt verwijderd, maar ook de kelder schoongemaakt wordt.

Berekeningen met het MESPRO model (Aarnink e.a., 1992) laten voor vleesvarkens een recht evenredige relatie zien tussen het entpercentage en de methaanproductie. De methaanproductie uit de mengmest neemt volgens deze berekeningen toe van 4 kg/jaar per vleesvarken bij 5% ent tot 16 kg/jaar bij 20% ent. Het entpercentage is hierbij gedefinieerd als het percentage oude mest (met veel micro-organismen) ten opzichte van de hoeveelheid mest bij het leeglaten van de mestkelder.

Kosten

De uitvoering bij drijfmest zal meestal door een gespecialiseerd bedrijf uitgevoerd moeten worden. Bij vaste mest zal meestal op het bedrijf al apparatuur aanwezig zijn voor het verwijderen van de vaste mest.

Voordelen

- Reduceert emissie CH₄. Neutraal t.a.v. emissies van NH₃, N₂O, geur en fijn stof
- Goed toepasbaar bij vaste mest-systeem.

Nadelen

- Moeilijk uitvoerbaar bij drijfmestkelders in stallen met (betonnen) roosters, aangezien deze niet of moeilijk te verwijderen zijn.
- De maatregel is vooral effectief in combinatie met een kortdurende mestopslag in de stal. Als mest langdurig wordt opgeslagen dan ontwikkelt zich steeds meer biomassa in de mestopslag die zorgt voor anaerobe omzetting van organische stof tot o.a. methaan.

3.12 Mestvergisting en mestscheiding

Doel van vergisting is de omzetting van organische stof in biogas (grotendeels CH₄ en CO₂). Dit gebeurt onder zuurstofloze (anaerobe) omstandigheden met behulp van bepaalde micro-organismen. Het eindproduct na vergisting is, naast het biogas, vergiste mest (ook digestaat genoemd). Vergisting zorgt ook onder andere voor de afbraak van vluchtig organische verbindingen (inclusief bepaalde geurstoffen), de omzetting van organische stikstof in ammonium, en het doden van ziektekiemen en onkruidzaden. Een belangrijk kenmerk van dit proces is dat alleen gemakkelijk afbreekbare organische stoffen worden afgebroken. Om een beter rendement te krijgen kunnen andere producten toegevoegd worden aan de mest en mee vergisten (dit wordt co-vergisting genoemd).

Vergisting

Vergisting wordt toegepast bij varkens- en rundveemest toegepast. Het eindproduct (digestaat) kan uitgereden worden op het land (afzet binnen de landbouw), maar ook verder in een dunne en een dikke fractie worden gescheiden. De dikke fractie kan daarna worden verwerkt tot exportwaardige mestkorrels (met relatief hoge gehalten aan N, P en K) door de mest te drogen, pelleteren en hygiëniseren (afzet buiten landbouw). De dunne fractie kan op het land uitgereden worden, maar ook verder verwerkt worden.

Mestscheiding

Doel van mestscheiding is het verkrijgen van een dunne en een dikke mestfractie ten behoeve van verdere verwerking (bijvoorbeeld de dikke fractie composteren) en direct afzetten (bijvoorbeeld uitrijden van de dunne fractie op het land), of een combinatie van beide (bijvoorbeeld de export van mestkorrels na het drogen en pelleteren van de dikke fractie). Mestscheiding wordt voor zowel varkens- als voor rundveemest toegepast. De mestproducten (dunne en dikke fractie) worden voornamelijk binnen de landbouw afgezet.

Effect

Clemens et al. (2006) rapporteren reducties van 14-52% en Amon e.a. (2006) van 61% in broeikasgasemissie (hoge reductie in CH₄ emissie, hogere N₂O emissie) tijdens de opslag van vergiste rundvee drijfmest ten opzichte van opslag van ruwe mest (Tabel 12). Sommer e.a. (2000) vonden ook hogere N₂O emissies tijdens opslag van vergiste ten opzichte van onvergiste rundvee drijfmest.

Tabel 12 In de literatuur gerapporteerde effecten van mestvergisting

Maatregel		Effect op			Referentie
		N ₂ O	CH ₄	BKG	
Vergisting	Rundvee, korst, winter	-9%	-32%	-14%	Clemens e.a. (2006)
	Rundvee, korst, zomer	+49%	-68%	-52%	Clemens e.a. (2006)
	Rundvee, houten dek	+41%	-67%	-61%	Amon e.a. (2006)

N.B. Een negatief cijfer representeert een reductie van de emissie van het broeikasgas

Er is geen eenduidig beeld over het effect van vergisting op de emissies van N₂O en CH₄ na toediening. Clemens en Huschka (2001) en Amon e.a. (2006) vonden lagere N₂O emissies na toediening van vergiste ten opzichte van onvergiste rundvee drijfmest. Wulf e.a. (2002) rapporteerden hogere N₂O emissies na toediening van vergiste mest op grasland ten opzichte van onvergiste mest, hoewel de verschillen niet significant waren. Clemens e.a. (2006) vonden ook geen significante verschillen in N₂O emissie na toediening van vergiste en onvergiste mest op grasland.

Wulf e.a. (2002) rapporteren, voor zowel grasland als akkerbouw, lagere CH₄ emissies na toediening van vergiste ten opzichte van onvergiste mest. Amon e.a. (2006) rapporteren echter hogere CH₄ emissies na toediening van vergiste rundveemest ten opzichte van onvergiste mest op grasland. Clemens e.a. (2006) vonden geen significante verschillen in CH₄ emissie na toediening van vergiste en onvergiste rundveemest op grasland.

Opslag van de dunne en dikke fracties na mestscheiding resulteert in lagere CH₄ en hogere N₂O emissies ten opzichte van opslag van ruwe drijfmest (Tabel 13). Martinez e.a. (2003), Mosquera e.a. (2011) en Dinuccio e.a. (2008) rapporteren, voor varkens drijfmest, een totale reductie in broeikasgasemissie van 9-40%, hoewel Dinuccio e.a. (2008) ook een toename in broeikasgasemissie van 41% rapporteren. Voor rundvee drijfmest, rapporteren Fanguero e.a. (2008a), Dinuccio e.a. (2008) en Amon e.a. (2006) een afname in broeikasgasemissie van 9-39%. Dinuccio e.a. (2008) en Mosquera e.a. (2011) rapporteren echter een toename in broeikasgasemissie van 4-25%.

Tabel 13 In de literatuur gerapporteerde effecten van mestscheiding

Maatregel		Effect op			Referentie
		N ₂ O	CH ₄	BKG	
Scheiding	Varkens, 5 °C	-	-8%	-8%	Dinuccio e.a. (2008)
	Varkens, 25 °C	Toename	+3%	+41%	Dinuccio e.a. (2008)
	Varkens	Toename	-93%	-29%	Mosquera e.a. (2011)
	Varkens	-	-18%	-18%	Martinez e.a. (2003)
	Varkens	-	-40%	-40%	Martinez e.a. (2003)
	Rundvee, 5 °C	-	+4%	+4%	Dinuccio e.a. (2008)
	Rundvee, 25 °C	-	-9%	-9%	Dinuccio e.a. (2008)
	Rundvee	+1100%	-34%	-23%	Fanguero e.a. (2008a)
	Rundvee + houten dek	+10%	-42%	-39%	Amon e.a. (2006)
	Rundvee	Toename	-42%	+25%	Mosquera e.a. (2011)

N.B. Een negatief cijfer representeert een reductie van de emissie van het broeikasgas

Studies met gescheiden mest laten wisselende resultaten zien wat betreft emissies van CH₄ en N₂O. Amon e.a. (2006) vonden hogere CH₄ en N₂O emissies na uitrijden van de dunne fractie van rundveemest t.o.v. de onbehandelde mest. Fanguero e.a. (2008b) rapporteren ook hogere N₂O emissies na het (bovengronds) uitrijden van de dunne fractie van rundveemest t.o.v. onbehandelde mest. Bertora e.a. (2008) vonden echter lagere N₂O emissies na uitrijden van de dunne fractie van varkensmest t.o.v. onbehandelde mest.

Kosten

De kosten hangen af van de hoeveelheid mest die behandeld wordt, en van of de mest op het bedrijf zelf behandeld kan worden of getransporteerd moet worden naar een (grotere) mestbehandelingsinstallatie.

Voordelen

- Zowel mestscheiding als mestvergisting reduceren CH₄-emissies, en over het algemeen ook totale (CH₄+N₂O) broeikasgasemissies. Geen consistent beeld wat betreft emissies van geur en NH₃ na toediening van mest.

Nadelen

- Mestvergistingsinstallaties zijn kwetsbaar voor lekkages, met de risico om de milieuwinst van deze maatregel te verliezen.
- Door mestscheiding worden twee extra bronnen (mestproducten) gecreëerd, waarmee rekening gehouden moet worden met extra nevenemissies (zoals bijvoorbeeld extra N₂O emissie bij de vaste fractie van gescheiden mest).

4 Conclusies

In deze deskstudie zijn twaalf maatregelen onder de loep genomen die emissies van methaan en lachgas uit dierlijke mest (zowel vaste mest als drijfmest) vanuit varkens- en pluimveestallen zouden kunnen verminderen. Door middel van literatuuronderzoek en modelberekeningen is verkend hoe perspectiefvol deze maatregelen zijn.

Uit deze studie blijkt in de eerste plaats dat er voor veel maatregelen onvoldoende onderzoeksgegevens beschikbaar zijn om het perspectief met zekerheid in te schatten of te kwantificeren. In andere gevallen zijn wel onderzoeksgegevens voorhanden, maar laten deze een zeer wisselend beeld zien: het gebrek aan reproduceerbaarheid van het gevonden effect duidt bij deze maatregelen meestal op een sterke afhankelijk van overige factoren in het bedrijfsmanagement. Tot slot geven sommige maatregelen een gunstig beeld t.a.v. het ene broeikasgas, maar een ongunstig beeld t.a.v. het andere.

Perspectiefvolle maatregelen lijken het **afdekken van mest**, het **kort opslaan van mest in de stal**, het **koelen van mest**, het **schoonmaken van geleegde mestkelders**, en **mestvergisting/-scheiding**. Deze maatregelen lijken perspectiefvol voor wat betreft het verlagen van broeikasgasemissies uit varkens- of pluimveestallen. Om echter een integraal beeld te krijgen van de daadwerkelijke milieuwinst van deze maatregelen is het noodzakelijk om - naast broeikasgassen - ook effecten op andere milieucomponenten (geur, ammoniak, fijnstof) en op andere plekken in de mestketen (mestopslag, mesttoediening) in ogenschouw te nemen.

5 Literatuur

- Aarnink, A.J.A. (1997). Ammonia emission from houses for growing pigs as affected by pen design, indoor climate and behaviour. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Aarnink, A.J.A., E.N.J. Van Ouwerkerk en M.W.A. Verstegen (1992). A mathematical model for estimating the amount and composition of slurry from fattening pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 31, 133-147.
- Amon, B., Th. Amon, J. Boxberger en Ch. Alt (2001). Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, 103-113.
- Amon, B., V. Kryvoruchko, T. Amon en S. Zechmeister-Boltenstern (2006). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, 153-162.
- Amon, B., V. Kryvoruchko, M. Fröhlich, T. Amon, A. Pöllinger, I. Mösenbacher en A. Hausleitner (2007). Ammonia and greenhouse gas emissions from a straw flow system for fattening pigs: housing and manure storage. *Livestock Science* 112, 199-207.
- Bertora, C., F. Alluvione, L. Zavattaro, J.W. van Groenigen, G. Velthof en C. Grignani (2008). Pig slurry treatment modifies slurry composition, N₂O, and CO₂ emissions after soil incorporation. *Soil Biology & Biochemistry* 40, 1999-2006.
- Bussink, D.W., J.F.M. Huijsmans en J.J.M.H. Ketelaars (1994). Ammonia volatilization from nitric-acid-treated cattle slurry, (surface) applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 42: 293-309.
- Cabaraux, J.F., F.X. Philippe, M. Laitat, B. Canart, M. Vandenheede en B. Nicks (2009). Gaseous emissions from weaned pigs raised on different floor systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 130, 86-92.
- Chadwick, D.R. (2005). Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmospheric Environment* 39, 787-799.
- Clemens, J. en A. Huschka (2001). The effect of biological oxygen demand of cattle slurry and soil moisture on nitrous oxide emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 59, 193-198.
- Clemens, J., M. Trimborn, P. Weiland en B. Amon (2006). Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112 (2-3), 171-177.
- Crutzen, P. J., I. Aselmann en W. Seiler (1986). Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus* 38B, 271-284.
- Dinuccio, E., W. Berg en P. Balsari (2008). Gaseous emissions from the storage of untreated slurries and the fractions obtained after mechanical separation. *Atmospheric Environment* 42, 2448-2459.
- Elzing, A. en G.J. Monteny (1997a). Ammonia emission in a scale model of a dairy-cow house. *Transactions of the ASAE* 40: 713-720.
- Elzing, A. en G.J. Monteny (1997b). Modeling and experimental determination of ammonia emission rates from a scale model dairy-cow house. *Transactions of the ASAE* 40, 721-726.
- Fangueiro, D., J. Coutinho, D. Chadwick, N. Moreira en H. Trindade (2008a). Effect of cattle slurry separation on greenhouse gas and ammonia emissions during storage. *J. Environ. Qual.* 37, 2322-2331.
- Fangueiro, D., M. Senbayran, H. Trindade en D. Chadwick (2008b). Cattle slurry treatment by screw press separation and chemically enhanced settling: effect on greenhouse gas emissions after land spreading and grass yield. *Bioresource Technology* 99, 7132-7142.
- Géneremont, S en P. Cellier (1997). A mechanistic model for estimating ammonia volatilization from slurry applied to bare soil. *Agricultural and Forest Meteorology* 88, 145-167.
- Groenestein, C.M. (2006). Environmental aspects of improving sow welfare with group housing and straw bedding. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Groenestein, G.M., J.F.M. Huijsmans en R.L.M. Schils (2010). Emissies van broeikasgassen, ammoniak, fijn stof en geur in de mestketen. Rapport 248.
- Groenestein, C.M., J. Mosquera en S.M. van der Sluis (2012). Emission factors for methane and nitrous oxide from manure management and mitigation options. Submitted to *Journal of Integrative Environmental Sciences*.
- Guarino, M., C. Fabbri, M. Brambilla, L. Valli en P. Navarotto. Evaluation of simplified covering systems to reduce gaseous emissions from livestock manure storage. *Transactions of the ASABE* 49(3), 737-747.

- Haeussermann, A., E. Hartung, E. Gallmann en T. Jungbluth (2006). Influence of season, ventilation strategy, and slurry removal on methane emissions from pig houses. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, 115-121.
- Hansen, M.N., P. Kai en H.B. Møller (2006). Effects of anaerobic digestion and separation of pig slurry on odour emission. *Applied Engineering in Agriculture* 22(1), 135-139.
- Hao, X., C. Chang, F.J. Larney, en G.R. Travis (2001). Greenhouse gas emissions during cattle feedlot manure composting. *J. Environ. Qual.* 30, 376-386.
- Hashimoto, A.G. (1986). Ammonia inhibition of methanogenesis from cattle wastes. *Agricultural Wastes.* 17:241-261.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol en M.M.W.B. Hendriks (2001). Effect of application technique, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 49, 323-342.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol en G.D. Vermeulen (2003). Effect of application method, manure characteristics, atmosphere and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. *Atmospheric Environment* 37, 3669-3680.
- Jun, P., M. Gibbs en K. Gaffney (1999). Methane and nitrous oxide emissions from livestock manure. Background report for expert group meeting on good practice in inventory preparation for agricultural sources of methane and nitrous oxide. 24-26 February, Wageningen, The Netherlands.
- Kaiser, S. (1999). Analyse und bewertung eines zweiraumkompoststalls für matschweine unter besonderer berücksichtigung der gasförmigen stoffströme. PhD Thesis, VDI-MEG Schrift 334, University of Göttingen, Germany.
- Lopez-Real, J. en M. Baptista (1996). A preliminary comparative study of three manure composting systems and their influence on process parameters and methane emissions. *Compost Science and Utilization* 4, 371-382.
- Maas, C.W.M. van der , P.W.H.G., Coenen, P.J. Zijlema, K. Baas, G. van den Berghe, J.D. te Biesebeek, A.T. Brandt, G. Geilenkirchen, K.W. van der Hoek, R. te Molder, R. Dröge, C.J. Peek, J. Vonk en I. van den Wyngaert (2011). Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2009. National Inventory Report 2011, MNP, Bilthoven, The Netherlands.
- Martinez, J., F. Guiziou, P. Peu en V. Gueutier (2003). Influence of treatment techniques for pig slurry on methane emissions during subsequent storage. *Biosystems Engineering* 85(3), 347-354.
- Melse, R.W. (2003). Biologisch filter voor verwijdering van methaan uit lucht van stallen en mestopslagen. Wageningen University and Research Centre, Agrotechnology and Food Innovations. Rapport 2003-16.
- Mennicken, L. (1998) Biobett für Legehennen — ein Beitrag zum Umweltschutz? [Biobeds for laying hens — a contribution to environmental protection.] DGS 13, 12-20.
- Monteny, G.J. (2000). Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Mosquera, J., R. Schils, K. Groenestein, P. Hoeksma, G. Velthof en E. Hummelink (2011). Emissies van lachgas, methaan en ammoniak uit mest na scheiding. Wageningen UR Livestock Research Report 427.
- Muck, R.E. en T.S. Steenhuis (1981). Nitrogen losses in free stall dairy barns. In: *Livestock Waste: A renewable resource* p. 406-409. ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Nicks, B., M. Laitat, M. Vandenheede, A. Désiron, C. Verhaeghe en B. Canart (2003). Emissions of ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide and water vapor in the raising of weaned pigs on straw-based and sawdust-based deep litters. *Animal Research* 52, 299-308.
- Nicks, B., M. Laitat, F. Farnir, M. Vandenheede, A. Désiron, C. Verhaeghe en B. Canart (2004). Gaseous emissions from deep-litter pens with straw or sawdust for fattening pigs. *Animal Science* 78, 99-107.
- Pattey, E., M.K. Trzcinski en R.L. Desjardins (2005). Quantifying the reduction of greenhouse gas emissions as a result of composting dairy and beef cattle manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 72, 173-187.
- Philippe, F.X., M. Laitat, B. Canart, M. Vandenheede en B. Nicks (2007). Gaseous emissions during the fattening of pigs kept either on fully slatted floors or on straw flow. *Animal* 1 :10, 1515-1523.
- Philippe, F. X., M. Laitat, J. Wavreille, N. Bartiaux-Thill, B. Nicks en J.F. Cabaraux (2011). Ammonia and greenhouse gas emission from group-housed gestating sows depends on floor type. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 2011. 140: 3/4, 498-505.
- Rijnen, M.M.J.A. (2003). Energetic utilization of dietary fiber in pigs. Thesis Wageningen University, ISBN 90-5808-866-9, Wageningen, NL, 160 pp.

- Søgaard, H.T., S.G. Sommer, N.J. Hutchings, J.F.M. Huijsmans, D.W. Bussink en F. Nicholson (2002). Ammonia volatilization from field-applied animal manure-the ALFAM model. *Atmospheric Environment* 36, 3309-3319.
- Sommer, S.G., S.O. Petersen en H.T. Sogaard (2000). Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. *J. Environ. Qual.* 29, 744-751.
- Sommer, S.G., S.O. Petersen en H.B. Moller (2004). Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69, 143-154.
- Thorman, R.E., D. Chadwick, L.O. Boyles, R. Matthews, E. Sagoo en R. Harrison (2006). Nitrous oxide emissions during storage of solid manure and following application to arable land. In *Proceedings of the 12th RAMIRAN conference*, Aarhus, Denmark, 11-13 September, 2006.
- Van der Zaag, A.C., R.J. Gordon, R.C. Jamieson, D.L. Burton en G.W. Stratton (2009). Gas emissions from straw covered liquid dairy manure during summer storage and autumn agitation. *Transactions of the ASABE* 52(2), 599-608.
- Verdoes, N. en N.W.M. Ogink (1997). Odour emission from pig houses with low ammonia emission. *Proceedings of the international symposium Ammonia and odour control from animal production facilities* (J. A. M. Voermans & G. J. Monteny eds), Vinkeloord, NL, p. 317-325.
- Wulf, S., M. Maeting en J. Clemens (2002). Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide and methane emissions after spreading. II. Greenhouse gas emissions. *Journal of Environmental Quality* 31, 1795-1801.
- Yamulki, S. (2006). Effect of straw addition on nitrous oxide and methane emissions from stored farmyard manures. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, 140-145.
- Zeeman, G. (1991). Mesophilic and psychrophilic digestion of liquid manure. *Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen*, 116 pp.



Wageningen UR Livestock Research

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

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