

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 409

Implementatie van strooiselsystemen in de varkenshouderij

November 2010



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

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

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,
2010

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
onderzoeksoopdrachten zijn de Algemene
Voorwaarden van de Animal Sciences Group
van toepassing. Deze zijn gedeponneerd bij de
Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

This report describes factors that could improve
implementation of straw-based housing
systems in pig husbandry

Keywords

Pig, animal welfare, straw, management,
gaseous emissions

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteurs

H.M. Vermeer
J. Mosquera
C.M. Groenestein

Titel

Implementatie van strooiselsystemen in de
varkenshouderij
Rapport 409

Samenvatting

Dit rapport beschrijft factoren die de
implementatie van strooiselsystemen in de
varkenshouderij zouden kunnen verbeteren

Trefwoorden

Varken, dierenwelzijn, stro, management,
gasvormige emissies



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Rapport 409

Implementatie van strooiselsystemen in de varkenshouderij

Implementation of straw-based systems in pig husbandry

H.M. Vermeer

J. Mosquera

C.M. Groenestein

November 2010

Voorwoord

Er zijn in de laatste jaren weinig nieuwe strossallen gebouwd. Er is behoefte aan meer kennis over het voorkomen van strossystemen in de varkenshouderij in binnen- en buitenland, de milieuperspectieven van deze strossystemen en belemmeringen voor implementatie. Het doel hiervan is te achterhalen wat gedaan kan worden om de implementatie te bevorderen van strossystemen die vanuit welzijnsoogpunt gewenst zijn.

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

Dr. Ir. C.M. Groenestein
Projectleider

Samenvatting

De doelstelling van dit onderzoek was te achterhalen wat gedaan kan worden om de implementatie vanuit welzijnsoogpunt gewenste stalsystemen te bevorderen. Om dit te kunnen realiseren is een indeling in systemen gemaakt van varkensstallen met stro op praktijkbedrijven in binnen- en buitenland. Deze indeling is onder andere gebaseerd op de dikte van het strobed en het wel of niet mengen van stro en mest.

Er zijn in de laatste jaren weinig nieuwe strostallen gebouwd. Dat strostallen niet in de Maatlat Duurzame Veehouderij passen, wordt in de praktijk gezien als een belangrijke belemmering voor de bouw van nieuwe strostallen. Extra maatregelen om de ammoniakemissie te verlagen, kunnen strostallen wel een MDV-erkenning kunnen opleveren.

Stro past goed in stallen met varkens die weinig warmte produceren, zoals guste en drachtige zeugen en gespeende biggen. Bij diercategorieën met een hoge voeropname zoals lacterende zeugen en vleesvarkens moet bij de stalinrichting rekening gehouden worden met het risico van hittestress. Verschillende behoeften van varkens kunnen gedekt worden door andere materialen dan stro. Maar het grote voordeel van stro is dat het meerdere behoeften tegelijkertijd kan dekken.

Bij strosystemen moet bij de stalinrichting en het management, meer dan bij drijfmestsystemen, rekening gehouden worden met dat het risico van emissies van overige broeikasgassen CH₄ en N₂O uit zowel de stal als de mestopslag buiten de stal te minimaliseren.

Het inpassen van strogebruik in de bedrijfsvoering moet geoptimaliseerd worden, zoals automatisering van instrooisystemen, mestafvoersystemen en mestafzet. Een grondige kennis over de sturing van het mestgedrag van varkens in strosystemen is daarbij cruciaal.

Summary

The use of straw based systems for pigs in the Netherlands is currently not increasing. The objective of this project was to clarify the reasons which hamper the further implementation of these animal welfare friendly systems in practice. This report gives an overview of straw based systems on practical farms in The Netherlands and NW-Europe. The categories in this overview are mainly based on the amount of bedding and the level of keeping the straw, manure and urine separated.

In the Netherlands new animal housing systems should fit in a legal system of sustainable animal husbandry with financial benefits. Straw based systems do not fit in this system because the levels of ammonia emissions are unknown or too high. New low emission systems are needed to fulfil the requirements of sustainable animal husbandry.

Straw based systems are very suitable for dry sows and weaners, because they do not produce much heat. Insulating en heat producing straw beddings can be a risk factor for heat stress in lactating sows and growing-finishing pigs. The needs of pigs can be met by specific materials, but the advantage of straw is that it combines multiple needs at a time.

To minimise emission of the greenhouse gases CH₄ and N₂O from the building and the manure storage in straw based systems, more and specific attention should be payed to pen design, equipment and management than in conventional strawless systems.

The use of straw on pig farms should be optimised with automation and mechanisation on one hand and application on arable land on the other hand. To minimise labour and straw more knowledge about directing dunging behaviour is important.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Stalsystemen met stro	2
2.1	Binnenklimaat en weinig stro	2
2.2	Buitenklimaat en weinig stro	2
2.3	Buitenklimaat en dik strobed	3
2.4	Systemen die stro en mest gescheiden houden	3
2.4.1	Stokeringen.....	3
2.4.2	Verhoogd rooster of diepstrooiselbed.....	4
2.4.3	Verhoogd rooster met spleet	4
2.4.4	'Buffer'rooster.....	4
2.5	Systemen die stro en mest mengen	4
3	Effect van stro op bedrijfsvoering	5
3.1	Opslag van stro	5
3.2	Instrooien van stro.....	5
3.3	Verwijderen van stromest.....	6
3.3.1	Spoelsystemen	6
3.3.2	Mestbanden	6
3.3.3	Sleufvloer	7
3.3.4	Mestschuif onder het rooster	7
3.3.5	Filterdoeksysteem.....	7
3.3.6	Mestvijzel	7
3.4	Opslag en afzet van stromest	8
3.5	Klimaatregeling	8
4	Gasvormige emissies: processen en sleutelfactoren	9
5	Emissies uit strosystemen: stal en mestopslag	11
5.1	Stalemissies.....	11
5.2	Mestopslag	12
6	Perspectief van andere strooiselmaterialen dan stro	15
7	Conclusies en bevindingen	16
8	Aanbevelingen	17
	Literatuur	18

1 Inleiding

Er is kwantitatief weinig bekend over het effect van strohuisvesting op de emissies van ammoniak, geur, broeikasgassen en fijnstof. Er zijn in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) geen stalsystemen met stro/strooisel opgenomen voor vleesvarkens of biggen. Omdat er geen bovenwettelijke maatregelen voor deze strooiselstallen bekend zijn, kunnen ze op dit moment niet voldoen aan de Maatlat Duurzame Veehouderij. Dat lijkt een belangrijke reden waarom deze stallen in de praktijk nog nauwelijks gebouwd worden. In de praktijk zijn initiatieven ontplooid om dergelijke systemen te ontwikkelen (Comfort Class, Canadese strooiselstal). Maar er is behoefte aan meer kennis over het voorkomen van strosystemen in de varkenshouderij in binnen- en buitenland, de milieuperspectieven van deze stalsystemen en mogelijkheden om de implementatie van dergelijke systemen te stimuleren. Daarom wordt in dit rapport een inventarisatie gemaakt van de verschillende typen strooiselstallen (hoofdstuk 2 en 3) en gevolgen van het gebruik van stro op de bedrijfsvoering (hoofdstuk 3) alsmede van maatregelen die milieu/emissies beperken. Naast stalemissies wordt ook aandacht besteed aan het effect van buitenopslag van stromest en reductiemogelijkheden (hoofdstuk 4 en 5). Vervolgens wordt kort ingegaan op andere strooiselmaterialen (hoofdstuk 6) en wordt geanalyseerd wat de introductie van strostallen in de praktijk remt (hoofdstuk 7). Tenslotte worden in hoofdstuk 8 aanbevelingen gedaan voor onderzoek en beleid die ertoe bij kunnen dragen dat de implementatie bevordert wordt van uit welzijnsoogpunt gewenste stalsystemen. Deze hoofdstukken dragen bij aan de doelstelling van dit onderzoek om te achterhalen wat gedaan kan worden om de implementatie van uit welzijnsoogpunt gewenste stalsystemen te bevorderen.

2 Stalsystemen met stro

Uit een inventarisatie van varkensstallen met stro op praktijkbedrijven in binnen- en buitenland, aangevuld met onderzoeksresultaten is een grove indeling in systemen gemaakt. Uitgangspunt daarbij is dat de lig- en mestruimte duidelijk verschillend zijn, omdat varkens deze van nature scheiden. Een potstalsysteem, met mest in het strobed en geen aparte mestruimte, is daarom voor varkens minder geschikt en niet in onderstaande indeling opgenomen. Ervaringen en voorbeelden uit het buitenland zijn hierin opgenomen. Het zwaartepunt van de strossallen bevindt zich in NW-Europa, met sterke rollen voor het VK en Zweden (zie foto 1). Als het gaat om grote zeugenstallen met stro in combinatie met voerstations dan is Nederland zelf koploper. De huidige schatting is 250-300 gangbare zeugenbedrijven en daarnaast nog 50 biologische varkensbedrijven. In Denemarken is slechts een handvol gangbare bedrijven met zeugen op een strobed.



Foto 1 Zweedse zeugen in het stro in combinatie met voerboxen op een verhoging

2.1 Binnenklimaat en weinig stro

Systemen met binnenklimaat en weinig stro vindt men vooral in verbouwde stallen. Bij 'binnenklimaat' is sprake van mechanische ventilatie en goede isolatie. De stal zelf biedt de varkens een geschikt klimaat, zodat ze geen dik strobed nodig hebben om hun microklimaat te regelen. De dichte vloer is vaak hellend (1-2%). Dagelijks wordt een kleine hoeveelheid stro verstrekt. Voor zeugen ligt dit tussen de 50 en 100 gram per dier per dag, voor vleesvarkens tussen de 30 en 50 gram per dier per dag. Bij deze hoeveelheden blijft het naar verwachting mogelijk om met roosters en drijfmest te blijven werken.

2.2 Buitenklimaat en weinig stro

In een stal met een buitenklimaat en weinig stro (foto 2) heerst een fris klimaat (meestal natuurlijke ventilatie met directe luchtinlaat en weinig isolatie) en moet de dieren een warmer microklimaat geboden worden. Bij een buitenklimaatstal (bijvoorbeeld een open-frontstal) waarin een geringe hoeveelheid stro verstrekt wordt, kan dit het beste in de vorm van een onderkomen (kist of bed) waaronder de warmte, die de dieren zelf produceren, wordt vastgehouden. In dit soort systemen wordt dagelijks tot enkele malen per week bijgestrooid. In een hok met buitenklimaat en weinig stro zijn, m.n. voor biggen en vleesvarkens, vanwege warmtebehoefte onderkomens, zoals bedden, onmisbaar. De gebruikte hoeveelheden stro zijn vergelijkbaar met de onder 2.1 genoemde variant. Mestafvoer vindt plaats onder het rooster, via schuiven of banden.



Foto 2 *Onderkomens en dun strobed zijn geschikt voor frisse buitenklimaatstallen*

2.3 Buitenklimaat en dik strobed

Een geschikt microklimaat in een frisse stal kan ook gerealiseerd worden met een dik strobed. Zodra de temperatuur daalt zullen zeugen en vleesvarkens zich in het stro 'ingraven'. Bovendien genereert biologische activiteit in het bed warmte wanneer in het stro gemest wordt. In deze systemen wordt eenmalig een grote hoeveelheid stro gegeven en wordt bijgestrooid (een of twee maal in de week). De variatie in strogebruik is hier groot. Bij zeugen varieert het van 0,5 tot 2 kg per dier per dag en bij vleesvarkens van 0,2 tot 0,5 kg per dier per dag. De combinatie met een drijfmeststelsel kan tot verstoppingen leiden wanneer geen goede barrière tussen ligruimte en mestruimte aanwezig is. Een dichte vloer in de mestruimte die periodiek uitgeschoven moet worden is dan een mogelijkheid.

2.4 Systemen die stro en mest gescheiden houden

Zowel in Nederland als daarbuiten wordt stro in combinatie met drijfmest weinig gebruikt. Op bedrijven waar dit het geval is wordt over het algemeen geprobeerd om afvoerproblemen van mest en urine te voorkomen door het stro zoveel mogelijk uit de put te houden of in ieder geval stro op het rooster te voorkomen. Daarvoor worden in de praktijk drie methoden gebruikt: strokeringen, verhoogd rooster en een 'buffer'rooster. Met alle drie zijn wisselende ervaringen opgedaan in een groot aantal varianten. Op biologische bedrijven is in de binnenruimte vaak een put of een dichte vloer waar de vaste stromest verzameld wordt en de drijfmest wordt op de buitenuitloop in een put met betonrooster verzameld.

2.4.1 Strokeringen

Strokeringen (foto 3) zijn de meest eenvoudige manier om op een gelijkvloerse overgang van de ingestrooide ligplaats naar de roostervloer een buffer op te werpen. Er zijn diverse varianten denkbaar, die allen bestaan uit een obstakel waar het stro pas door slepen of wroeten in de put kan komen. Bij een enigszins verdiept ligbed is ook sprake van een strokering door de verhoging in de vloer. Nadeel van een verdiept bed is dat het schoonhouden en reinigen van het hok arbeidsintensiever is. Een strokering op de vloer is bij het schoonmaken van de vloer eventueel te verwijderen. De hoogte van de strokering (10-30 cm) is afhankelijk van grootte van de diercategorie.



Foto 3 Scheiding door strokering van ligbed en mestruimte

2.4.2 Verhoogd rooster of diepstrooiselbed

Een verhoogde roostervloer in combinatie met een lager liggend ingestrooid ligbed reduceert de hoeveelheid stro die door de varkens wroetend in de put wordt gewerkt. Op de roostervloer bevinden zich de water- en voerbakken. Het hoogteverschil kan bij zeugen oplopen tot een meter, waarbij trap treden het mogelijk maken op het rooster te komen. Bij de inrichting van het hok moet rekening gehouden worden met het feit dat er hokbevuiling kan optreden (met name bij de toegangen naar het ligbed) met als gevolg dat stromest afgevoerd moet worden. De vloer van het ligbed dient daarom bij voorkeur af te lopen om de natte fractie te verwijderen (circa 2%) richting een circa 1,5 m brede gang tussen het ingestrooid ligbed en het verhoogde rooster. Eventueel moet een strokering tussen ligbed en gang voorkomen dat er te grote hoeveelheden stro naar de gang verslept worden.

2.4.3 Verhoogd rooster met spleet

Indien in de mestput een ontmestingsysteem aanwezig is voor de afvoer van stromest, dan kan het aantrekkelijk zijn om het vuile stro direct in de put te laten vallen, zonder contact te hebben met de roostervloer. Dit kan door de roosters zo hoog te leggen dat er tussen de dichte vloer en de roosters een verticale spleet van 5-10 cm ontstaat. Dit voorkomt verstopping van de roosterspleten en bespaart uitmesttijd. In hokken met een lange hellende vloer wordt dit type rooster wel toegepast. Bij geringe hoeveelheden kort stro of zaagsel is er nog steeds sprake van drijfmest.

2.4.4 'Buffer'rooster

Een ondiepe put over de volle breedte tussen ingestrooid ligbed en drijfmestput kan aangelegd worden om stro dat meegenomen wordt aan de poten of door wroeten op te vangen. In deze eerste put zal veel stro terecht komen met weinig mest. Een ketting met meenemers of een mestschuif verwijdert meerdere malen per dag de stromest uit de stal. In het tweede kanaal, dat verder van de dichte vloer afligt, komt voornamelijk drijfmest. Dit kan op een traditionele manier, bijvoorbeeld met riolering, afgevoerd worden. Er zijn niet veel ervaringen met dergelijke bufferkanalen.

2.5 Systemen die stro en mest mengen

Bij deze systemen worden stro en mest niet gescheiden, maar gemengd afgevoerd en opgeslagen. Dit stelt eisen aan het afvoersysteem omdat stro tot verstoppingen kan leiden. Afvoersystemen komen in hoofdstuk 3.3 uitgebreid aan de orde. Bij kleine hoeveelheden kort stro kunnen roosters gebruikt worden zonder verstopt te raken en kan de mest vloeibaar, als drijfmest afgevoerd worden via bijvoorbeeld een rioleringsysteem. Op de mest in de put ontstaat een drijfslag. Dit kan de ammoniakemissie reduceren (zie paragraaf Emissies), maar is een broedplaats voor vliegen.

3 Effect van stro op bedrijfsvoering

3.1 Opslag van stro

Een of enkele malen per jaar wordt stro aangevoerd, afhankelijk van beschikbaarheid, prijs en opslagcapaciteit Bosma en Vermeer (2003). De opslag vindt plaats in een aparte kapschuur of in een apart spantvak in de stal. Maar bij strosystemen voor zeugen ook op de zolder of op de vloer van het hok zelf. Ongediertebestrijding verdient extra aandacht, omdat het stro in de opslag een goede beschutting biedt aan muizen en ratten.

3.2 Instrooien van stro

Instrooisystemen als alternatief voor handmatig instrooien zijn van belang om de arbeidsomstandigheden te verbeteren en de arbeidsbehoefte te verminderen. Het instrooien van biggen- of vleesvarkenshokken gebeurt tot nu toe met name op biologische en scharrelbedrijven. In deze meestal kleine hokken zijn het kleine hoeveelheden die met de hand verstrekt worden. Het handmatig instrooien van biggen- of vleesvarkenshokken op grotere bedrijven is zowel qua arbeidstijd en arbeidsomstandigheden ongewenst.

In 2003 is door De Leeuw en Vermeer een inventarisatie gemaakt van instrooisystemen voor hokken in de varkenshouderij. De instrooitechnieken in tabel 1 zijn uit deze inventarisatie naar voren gekomen. In de tabel is een beoordeling gegeven aan de hand van een aantal parameters. In de kolommen met plussen en minnen geeft een '+' een positieve en een '-' een negatieve beoordeling, '0' is neutraal.

Tabel 1 Instrooisystemen uit de inventarisatie met een beoordeling

	Gescheiden afdelingen	Hoeveelheid stro	Arbeidstijd	Arbeidsomstandigheden		Kosten
				Fysieke arbeid	Stof	
Niet automatisch						
Handmatig	Ja	Weinig tot veel	-	-	-	+
Rail in stal	Nee	Veel	0	0	-	0
Verrijdbare strohakselaar	Ja	Weinig tot veel	-	0	-	0
Stationaire strohakselaar	Nee	Weinig tot veel	-	-	-	0
Tractor of mini-shovel	Nee	Veel	0	+	0	0
Automatisch						
Strobuis	Ja	Weinig	+	+	+	-
Automatische hakselaar	Nee	Veel	+	+	0	-
Cycloon	??	Weinig	+	+	0	??

Uit de tabel blijkt dat het aantal technieken om stro te verstrekken zeer beperkt is. In de praktijk hebben de arbeidsintensieve niet automatische systemen de overhand. Van de automatische systemen is er slechts één die toegepast kan worden in gescheiden afdelingen, namelijk het stro-buis systeem. Deze scoort gunstig voor wat betreft arbeid en arbeidsomstandigheden, maar is relatief duur. Wellicht dat de cycloon voor dit laatste een oplossing kan bieden. Dit is een techniek die veelbelovend is maar nog niet geschikt is om stro te verstrekken in gescheiden afdelingen. Ontwikkeling en onderzoek ten aanzien van deze techniek is gewenst, waarbij gedacht wordt aan een strohakselaar in combinatie met een cycloon die het stro over een afstand naar verschillende lospunten kan blazen. Vanaf 2003 zijn er weinig ontwikkelingen geweest in deze instrooisystemen.

Voor het instrooien van grote ruimten zoals dragende zeugenstallen werkt men meestal met een trekker, verreiker of shovel. De zeugen zorgen vervolgens zelf voor het verspreiden van het stro uit de grote baal.

Voor de systemen met veel stro voor vleesvarkens en zeugen is het raadzaam om in de zomer een dunne strolaag te hebben. Teveel stro in de zomer zou tot hittestress, verlaagde voeropname en bevuilde ligbedden kunnen leiden.

3.3 Verwijderen van stromest

Bij grotere hoeveelheden stro moet de voornamelijk vaste mest mechanisch uit de stal verwijderd worden. Een belangrijk onderscheid valt te maken tussen systemen zonder en met roosters. In een systeem zonder roosters moet de mest met stro en urine verwijderd worden van de dichte vloer in het hok. Handmatig uitschuiven komt voor in kleinere hokken of afdelingen, waarbij de mest direct naar buiten wordt geschoven, of in een kruiwagen of in een stortgat waaronder zich een afvoersysteem (bijvoorbeeld rondgaande ketting met meenemers) bevindt. In grotere hokken met bijvoorbeeld zeugen in groepshuisvesting wordt ook vaak uitgeschoven met een trekker of een mini-shovel. Dit gebeurt dan dagelijks of enkele malen per week. In stroloze systemen zijn deze werkzaamheden niet nodig, zodat de arbeidsbehoefte in strosystemen per definitie hoger is (Vermeer, Groenestein en Roelofs, 2007).

Voor langere rijen met hokken worden ook wel automatische schuiven gebruikt die regelmatig de vloer schoon schuiven in aanwezigheid van de varkenshouder. Niet alle ervaringen daarmee zijn positief. De schuif dient de varkens uiteraard niet te verwonden en de vloer goed schoon te schuiven.

In de situatie met roosters is het eenvoudiger om een automatische schuif regelmatig de mest te laten afvoeren. Toezicht is daarbij meestal niet nodig. Wel is het noodzakelijk dat vuil stro onder de roosters komt via de roosterspleten, via een mestspleet achter in het hok tegen de muur of via een spleet onder een verhoogd rooster. Op de laatste wijze wordt voorkomen dat roosterspleten door stro verstopt raken. Enig handwerk is vaak nog wel vereist bij het schoonmaken van de hokken, met name daar waar de dichte vloer niet zodanig hellend is dat de mest met het bevuilde stro door middel van zwaartekracht richting mestspleet verdwijnt. Naast schuiven worden op dit moment ook systemen ontwikkeld met mestbanden en vijzels.

In de literatuur zijn een aantal systemen beschreven voor de afvoer van strorijke mest, waarvan de belangrijkste hieronder zijn weergegeven.

3.3.1 Spoelsystemen

Bij Praktijkonderzoek Veehouderij zijn verschillende spoelsystemen met spoelgoten getest. Ter Elst-Wahle en den Brok (1995) onderzochten systemen waarbij getracht werd primaire scheiding toe te passen door de spoelbanen onder een licht afschot te leggen. Dit bleek echter niet naar behoren te functioneren. Het systeem met de spoelgoten bleek nog erg storingsgevoelig en niet praktijkrijp.

Timmerman en Altena (2001) onderzochten de WX-spoelgoten in combinatie met stroverstrekking. De afvoer van de strorijke mest uit de afdelingen en de scheiding van de strorijke mest in een dikke en dunne fractie was in de huidige opzet niet optimaal. Er traden problemen met verstoppingen op. Ook dit systeem bleek nog niet praktijkrijp indien stro werd verstrekt. De jaarkosten van het systeem liggen bijna 13% hoger dan een rioleringsysteem. Later werd een zeefband achter het spoelsysteem geplaatst, die de mest naar behoren in een dunne en dikke fractie scheidde.

3.3.2 Mestbanden

Aarnink et al. (2000) beschreven ervaringen met een (bolle) mestband om (stro)mest af te voeren. Deze band bevindt zich onder een roostervloer, waar de dunne en dikke fractie door de band wordt gescheiden en apart afgevoerd. Over het algemeen functioneert de band goed. Het grootste probleem is het onderhoud en de afvoer van de dunne fractie. Bij technische problemen was de mestband moeilijk bereikbaar. Bij toepassing met stromest is de ervaring dat de giergoot aan de zijde van de dichte vloer kon verstopten. De oorzaak hiervan was dat een deel van de stromest in de giergoot gleed en er moeilijk uit te halen was.

3.3.3 Sleufvloer

Het IMAG heeft een pilotproef met de sleufvloer uitgevoerd in een afdeling met vleesvarkens (Aarnink et al., 2000) en dragende zeugen (Swierstra et al., 1999). De vloer van de mestruimte bestond uit prefab betonnen elementen met daarin een aantal sleuven. In elk element waren aan het einde tapse inkepingen aangebracht waardoor de gier kon worden afgevoerd naar daaronder liggende spoelgoten. Het systeem werkte goed, ook bij lang stro. Alleen bij de afstort van de dikke fractie aan het einde waren wat problemen met het lange stro. Er werd een positieve invloed op het lig- en mestgedrag geconstateerd. Recentere ervaringen (2004) in de biologische vleesvarkensstal van Praktijkcentrum Raalte lieten zien dat er een hoeveelheid vocht nodig is om aankoeken te voorkomen. Als de varkens mest en urine met name naar de buitenuitloop brengen of het vocht wordt door de gaatjes in de sleuvenvloer te snel afgevoerd, droogde de resterende mest met stro snel op en ging aankoeken.

3.3.4 Mestschuif onder het rooster

Er bestaan verschillende mestschuiven die op een bedrijfszekere wijze stromest uit de stal verwijderen. De meeste ervaring met mestschuiven is opgedaan in de melkveehouderij. In de varkenshouderij moet meer rekening gehouden worden met de mogelijkheid van pootbeschadiging. Daarnaast is het aankoeken van de mest aandachtspunt omdat daardoor de beloopbaarheid minder wordt.

In Denemarken is ervaring met mestschuiven bij varkens omdat een strosysteem met twee gescheiden meststromen veel voorkomt. Tussen het ingestrooide liggende van de dieren en de mestruimte, ligt een afgedekte goot van circa 1,0 m breed. Het vervuilde stro wordt handmatig via stortluiken in de afvoergoot gedeponeerd waar het met een mestschuif wordt verwijderd naar het uiteinde van de stal of afdeling (Olsson et al., 1993). Buiten de stal kan men de stromest afvoeren met een opvoergoot naar een stromesthoop. De mengmest onder de roosters wordt als drijfmest afgevoerd via bijvoorbeeld een rioleringsstelsel. In Denemarken is ook ervaring met andere typen mestschuiven, zowel boven als onder de roosters (Olsson et al., 1993).

3.3.5 Filterdoekstelsel

Het IMAG heeft het filterdoekstelsel ontwikkeld (Kroodsmas en Poelsma, 1985). Dit stelsel berust op de filterwerking van een kunststof doek. De vaste mest valt in de mestruimte op het doek en wordt dagelijks uit de stal verwijderd, de gier komt in het kanaal onder het doek. Door problemen met het opwickelen van het doek was het stelsel niet bedrijfszeker. Een heen en weer getrokken filterdoek functioneerde goed. Reinigen van het doek gebeurde met een draaiende borstel die onder de aandrijfrol voor de installatie was bevestigd. Periodiek reinigen met een hogedrukreiniger was bij dit stelsel vereist.

3.3.6 Mestvijzel

Met de afvoer van mest met een vijzel uit kraamhokken is reeds ervaring opgedaan door Praktijkonderzoek Varkenshouderij (Melse en Altena, 2001). Hierbij bevond zich onder het rooster een mestkanaal met schuine wanden (helling 45%) met op de bodem een vijzel van 18 meter lang en een diameter van 0,14 m. Handmatig verwijderde mest kon via stortkokers op de vijzel gebracht worden. De vijzel eindigde bij een opvoervijzel van 3,5 m en een diameter van 0,22 m. Deze was bevestigd in een buis waarvan de onderzijde was uitgevoerd als zeef om scheiding van vloeibare fractie te bewerkstelligen. Het strogebruik was 1 kg/hok/dag, er zijn verschillende lengten stro uitgetest. Lang stro bleek al snel niet geschikt voor toepassing bij een vijzelsysteem. Het vijzelsysteem bleek erg gevoelig voor verstoppingen, het gebruik van de stortkokers bleek hierdoor niet mogelijk. Het systeem bleek nog niet praktijkrijp te zijn.

De Leeuw (2003) ging na welke ideeën en ambities er leefden met betrekking tot de ontwikkeling van een systeem voor de afvoer van storrijke mest. Bovendien is via een creatieve workshop gezocht naar nieuwe ideeën.

Een aantal methoden en ideeën die in het literatuuronderzoek, de inventarisatie bij het bedrijfsleven en de workshop zijn gegenereerd, zijn vervolgens beoordeeld. De beoordeling staat in tabel 2. Op de uitmestsystemen 'vijzel/spiraal/pipe-pig' en 'centraal stofzuigersysteem' is in bovenstaande tekst niet nader ingegaan, omdat ze slechts een geringe hoeveelheid stro aan kunnen en de ontwikkeling geen navolging heeft gekregen.

Tabel 2 Beoordeling uitmestsystemen (De Leeuw, 2003)

	Alle categorieën varkens	Veel stro	Innovatief
Schuifstang onder verhoogd rooster	Ja	Ja	Nee
Vijzel/spiraal/pipe-pig	Ja	Nee	Nee
Schuif op de vloer	Nee	Ja	Nee
Bewegende hokvloer	Nee	Ja	Ja
Centraal stofzuigersysteem	Nee	Nee	Ja

3.4 Opslag en afzet van stromest

De stromest uit de stal kan niet altijd direct uitgereden worden op het land. Zowel voor de dagelijkse stromest als voor de (half)jaarlijkse grote hoeveelheid stro uit het ligbed is een tussenopslag nodig. Dit kan op een betonnen mestplaat, maar op veel bedrijven is hiervoor een extra spantvak in de strostal voor de zeugen beschikbaar. In de vloer van de mestopslag zorgen enkele spleten of roosters ervoor dat het uitlekkende vocht in de put bij de drijfmest terecht komt.

Stromest is een heel geschikte meststof voor bouwland. Het geeft structuur aan de bodem en na compostering komen P en N geleidelijk beschikbaar voor de plant. Toediening gebeurt over het algemeen in het najaar.

3.5 Klimaatregeling

Zoals in hoofdstuk 1 beschreven heeft stro een belangrijke functie voor de thermoregulatie van het varken. Dit geldt uiteraard niet bij een kleine hoeveelheid "recreatief" stro. Maar in een strobéd kan het varken een eigen microklimaat creëren. Dit betekent dat er minder of geen verwarmingscapaciteit ingebouwd hoeft te worden. In de zomermaanden is het zelfs zo dat het te warm kan worden voor de dieren, omdat het stro isoleert en broei de temperatuur van het strobéd verhoogt. Dit stelt eisen aan de klimaatregeling. Als er geen koelere plek is kan dat met name ten koste gaan van de voeropname. Het spreekt voor zich dat de arbeidsbehoefte sterk toeneemt en hygiëne en comfort afnemen zodra de dieren de ligplaatsen in het strobéd gaan bevullen.

Foto 4 Zeugenstal met strobéd (achterzijde), natuurlijke ventilatie en licht ingestrooide mestruimte (voorzijde)



4 Gasvormige emissies: processen en sleutelfactoren

Ammoniak (NH_3) wordt niet door het dier uitgescheiden, maar ontstaat voornamelijk bij omzetting van ureum (urine) en organisch gebonden stikstof (feces). Meer dan 50-60% van de uitgescheiden N in varkens en rundvee zit in de urine, en zo'n 70% van de N in de urine is ureum (Tamminga, 1992; Aarnink et al., 1995). Bij pluimvee is meer dan 70% van de uitgescheiden N urinezuur (Groot Koerkamp, 1994). Voor de omzetting van ureum is het enzym 'urease' nodig. Deze komt voor in de feces en is dus ook aanwezig op oppervlakken die met feces in aanraking zijn geweest. De omzetting van ureum vindt snel plaats. Binnen enkele uren kan de ureumvoorraad uitgeput zijn. De vervluchtiging is groter naar mate er meer stikstof aanwezig is in de urine en feces, de temperatuur en pH van de mest hoger zijn en het contactoppervlak tussen enerzijds urine en mest en anderzijds de lucht groter is. Een tweede manier waarop NH_3 gevormd wordt, is de afbraak van organische stikstofverbindingen in de feces tot aminozuren. Deze aminozuren kunnen verder degraderen tot NH_3 en andere componenten.

Lachgas (N_2O) wordt voornamelijk geproduceerd via de microbiële processen nitrificatie en denitrificatie. Bij nitrificatie wordt onder zuurstofrijke omstandigheden ammoniumstikstof ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) omgezet in nitraat/nitriet ($\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$) met N_2O als tussenproduct. Bij denitrificatie wordt NO_3^- onder zuurstofarme omstandigheden omgezet in N_2 , met N_2O als tussenproduct. Omdat zowel zuurstofarme als zuurstofrijke omstandigheden vereist zijn om NH_4^+ om te zetten in N_2 , is de kans groot dat tijdens de processen de omstandigheden suboptimaal zijn waardoor deze niet volledig kunnen verlopen en het tussenproduct N_2O kan vervluchtigen.

Endogeen methaan (CH_4) (uit de pens (herkauwers) en/of uit de dikke darm (herkauwers en éénmagige dieren)) en CH_4 in de mest worden gevormd door afbraak van organische stof onder anaerobe omstandigheden. De vorming van CH_4 in de mest is vooral afhankelijk van de aanwezigheid van organische stof als energiebron voor bacteriën, aanwezigheid van bacteriën (methanogene ent), zuurstofgehalte, temperatuur, pH en NH_3 -concentratie (hoge concentraties zijn toxisch voor methanogene bacteriën).

De factoren die de vorming en vervluchtiging van NH_3 , CH_4 , N_2O fijnstof en geur beïnvloeden kunnen per gas verschillen. Dit wordt in tabel 3 geïllustreerd. De optimale pH voor N_2O productie ligt tussen 6-7, voor CH_4 tussen 7-8 en voor een optimale NH_3 productie moet de pH hoger dan 7 zijn. NH_3 is goed oplosbaar in water, in tegenstelling met N_2O en CH_4 . De productie van NH_3 neemt toe naarmate de bemeste oppervlakte en/of luchtsnelheid langs de emitterende oppervlakte toeneemt. Deze factoren hebben echter geen invloed op de productie van N_2O en CH_4 . Methaanemissie is bovendien afhankelijk van de ammoniakemissie, want de NH_4^+ -concentratie in de mest remt de CH_4 -vorming. Methaan wordt ook in het dier als stofwisselingsproduct geproduceerd. Bij meermagige herkauwende dieren gebeurt dit met name door pensfermentatie en wordt CH_4 uitgeademd, bij éénmagige dieren, zoals varkens, treedt darmfermentatie op en wordt methaan via flatulentie uitgescheiden.

Tabel 3 Sleutelfactoren die de emissie van N₂O, NH₃, CH₄, geur en fijnstof kunnen beïnvloeden (uit Aarnink, 1997; Jun *et al.*, 1999; Monteny, 2000; Ogink, mondelinge mededeling; Aarnink, mondelinge mededeling). + betekent een positieve relatie, - een negatieve relatie, 0 betekent geen relevant effect. Een cijfer in de kolom voor pH duidt op een optimale pH.

	N ₂ O	NH ₃	CH ₄	Geur	Fijnstof
Dierfactoren					
Leeftijd/lichaamsgewicht	+	+	+	+	+
Hoeveelheid en samenstelling voer	+	+	+	+/-	+
Watergebruik	0	-	0	+	0
Omgevingsfactoren					
Stalinrichting	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Luchtsnelheid	0	+	0	+	+
Temperatuur binnenlucht	+	+	+	+	+
Temperatuur buitenlucht	+	+	+	+	+
Mestsamenstelling					
C/N-ratio	+	-	+	+	0
O ₂ -concentratie	+/-	+	-	+/-	0
Oppervlakte	0	+	0	0	0
Opslagtijd	+	0	+	0	0
pH	6	+	7	+/-	0
Mesttemperatuur	+	+	+	+	0
NH ₄ ⁺ -concentratie	+	+	-	0	0
Organische stof concentratie	0	0	+	0	0
Drogestofgehalte	0	0	-	0	+

5 Emissies uit strosystemen: stal en mestopslag

5.1 Stalemissies

Vaste mest kent aerobe zones en er kan, indien strooisel gebruikt is, veel koolstof (C) in zitten. Deze C kan als energiebron dienen voor de (de)nitrificerende bacteriën. Deze omstandigheden, beschikbaarheid van zuurstof en C-bron, maakt dat bij vaste mest het risico van N₂O-productie hoger is dan bij drijfmest. Volgens de IPCC guidelines (IPCC, 2006) is de emissiefactor voor N₂O uit vaste mest (0,02 kg N₂O-N per kg N in de mest) een factor 10 hoger dan voor dunne mest (0,002 kg N₂O-N per kg N in de mest).

In de literatuur gerapporteerde N₂O emissies uit varkensstallen variëren tussen 0,06-0,97 g N₂O per dier per dag voor systemen zonder strooisel en tussen 0,15-1,35 g per dier per dag voor systemen met strooisel. Uit deze studies blijkt dat strooiselsystemen met stro meestal minder N₂O emitteren dan systemen met alternatieve strooiselmateriaal (zaagsel, houtkrullen; Groenestein, 2006). Deze N₂O emissies zijn lager, maar in dezelfde orde van grootte, dan de N₂O emissies voor melkvee uit potstallen (0,0-5,0 g N₂O per dag per dier; Amon et al, 1998; Groenestein en Reitsma, 1993; Groenestein en Huis in 't Veld, 1994; Mosquera et al, 2005a).

De gerapporteerde CH₄-emissies uit strooiselsystemen voor varkens (1,9-39,0 g per dier per dag) zijn veel lager dan de emissies voor melkvee uit potstallen (0,2-2,8 kg CH₄ per dier per dag; Amon et al., 2001; Groenestein en Reitsma, 1993; Groenestein en Huis in 't Veld, 1994; Mosquera et al., 2005a). Dit verschil kan niet alleen verklaard worden door de endogene CH₄-productie in de pens. Het wroeten- en foerageergedrag van varkens zorgt dat de toplaag van het strooiselpakket belucht wordt. Het is mogelijk dat in varkensstallen een deel van de CH₄ die gevormd is in de onderste (anaerobe) lagen van het strooiselpakket, geoxideerd wordt in de bovenste lagen, waardoor geen CH₄-emissie optreedt (Groenestein, 2006; Szantos et al., 2007). Koeien wroeten niet, daarom is in potstallen voor melkvee de toplaag niet anaeroob. Dit kan een verklaring zijn voor de hoge CH₄-emissie. In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de emissies van NH₃, CH₄ en N₂O uit verschillende strooiselsystemen in de veehouderij. Voor NH₃ en CH₄ zijn geen significante verschillen gevonden tussen verschillende strooiselmateriaal, ook omdat de spreiding erg groot is.

Tabel 4 NH₃, CH₄ en N₂O emissies uit strooiselsystemen in de varkenshouderij

Diercategorie	Strooisel-systeem	G/dier/dag			Referentie
		NH ₃	N ₂ O	CH ₄	
Vleesvarkens	Stro	---	5,78-7,31	---	Dohler (1993)
Vleesvarkens	Stro	---	7,55-11,35	---	Groenestein et al. (1996)
Vleesvarkens	Stro	---	4,35-5,75	---	Stein (1999)
Vleesvarkens	Stro	10,1	0,15	11,1	Kaiser (1999)
Vleesvarkens	Stro	---	0,3	2,5-3	Ahlgimm et al (1999)
Vleesvarkens	Stro	---	4,87-7,3	---	Hesse (1994)
Vleesvarkens	Stro	13,6	0,03	7,4	Nicks et al (2004)
Vleesvarkens	Stro	6,9-9,2	0,07	1,9	Aarnink et al (2001)
Dragende zeugen	Stro	6,2-8,7	0,5	39	Hol and Groot Koerkamp (1999)
Vleesvarkens	Houtkrullen	3,12-5,62	0,59-3,44	---	Hoy et al (1997)
Vleesvarkens	Houtkrullen	7,8	3,3	---	Thelosen et al (1993)
Vleesvarkens	Zaagsel	5,1-5,5	4,7-9,3	20,7-34,09	Kaiser (1999)
Vleesvarkens	Zaagsel	7	11,3	---	Groenestein en van Faassen (1996)
Vleesvarkens	Zaagsel	3,5	7,5	---	Groenestein en van Faassen (1996)
Vleesvarkens	Zaagsel	9,5	3,2	4,8	Delcourt et al (2001)
Vleesvarkens	Zaagsel	12,2	2,1	5	Nicks et al (2004)
Vleesvarkens	Zaagsel	6,4	0,67	7,2	Aarnink et al (2004)
Vleesvarkens	Stro	13,1	1,11	16,0	Philippe et al. 2007a
Vleesvarkens	stro	13,3	0,7	8,9	Philippe et al. 2007b

De ammoniakemissie varieert van 3,12 tot 13,6 g per dier per dag. Rekening houdend met 10% leegstand zou dat op jaarbasis uitkomen op een emissie van 1,0 tot 4,5 kg per dier. Vergelijking met de Rav emissiefactoren voor drijfmestssystemen geeft geen aanleiding te veronderstellen dat ammoniakemissie van strooiselsystemen hoger zou zijn.

Last van stof wordt in de praktijk heel wisselend ervaren (Vermeer et al., 2007). Winkel en Aarnink, (2009) maten ook veel variatie, zowel tussen bedrijven, tussen stallen binnen bedrijven en tussen werkzaamheden binnen dezelfde stal van een bedrijf. Op basis van de processen en factoren die een rol spelen bij stofemissies deden zij aanbevelingen om stofemissie te reduceren. Naast voorstellen voor stofreducerende technieken, zoals het aanbrengen van een oliefilm, hadden veel aanbevelingen betrekking op voer- en stromanagement. Met betrekking tot het strooiselmanagement waren de belangrijkste aspecten de kwaliteit van het stro, de frequentie van toedienen en de dikte van het stropakket. Ten aanzien van het voersysteem werd de samenstelling en consistentie van het voer van belang geacht en tevens frequentie van voeren.

Er is weinig bekend over het effect van stro op de geuremissie. Het is waarschijnlijk dat in stromest, aeroob, dan wel anaeroob opgeslagen, andere afbraakprocessen prevaleren waardoor andere geurcomponenten ontstaan, maar er is onvoldoende grond om te veronderstellen dat door stro of strooisel minder geuremissies op zullen treden. Wel rapporteerden Ogink en Lens (2001) in geval van een diepstrooiselsysteem voor zeugen een reductie van de geuremissie van 68% in vergelijking met een drijfmeststelsysteem waarin zeugen individueel gehuisvest waren. Strostallen worden meestal natuurlijk geventileerd, en de geurcontouren van een natuurlijk geventileerde stal kunnen verder weg liggen dan die van een mechanisch geventileerde stal, omdat de stal over de volledige zijgevels open is en niet één ventilatiekoker als emissiepunt heeft (Ogink, mondelinge mededeling).

5.2 Mestopslag

Het is gebruikelijk om stromest enige tijd buiten de stal op te slaan, waar de mest composteert. Met name in de biologische veehouderij is het gebruikelijk om gecomposteerde dierlijke mest als meststof te gebruiken. Compostering is een biologisch proces waarbij bepaalde micro-organismen organische stof kunnen omzetten in stabiele verbindingen. Bij het composteren kunnen emissies optreden van NH_3 , N_2O , CH_4 en geur. De mate van deze emissies is afhankelijk van management tijdens composteren die een gevolg heeft voor de mate van beluchting. Bij extensieve of passieve compostering wordt de mest op hopen gestort en niet of weinig omgezet. Bij intensieve of actieve compostering wordt lucht door de mest geblazen en/of de mest vaak omgezet.

Een studie van Amon et al. (2001) illustreert de variatie in emissies aan de hand van metingen aan twee verschillende manieren van mestopslag van rundvee: een mesthoop die regelmatig werd omgezet (actieve compostering) en een mesthoop die niet werd omgezet (passieve compostering). Ze vonden hogere NH_3 -emissies bij actieve compostering (3,7-8,0 van totaal-N) t.o.v. van passief (0,6-2,1% van totaal-N). Andere studies (Dewes, 1996; Kirchmann en Lundvall, 1998; Römer et al., 1994) rapporteren ook hogere NH_3 -emissies bij actieve compostering. Amon et al. (2001) vonden echter lagere N_2O -emissies bij actieve compostering (0,3-0,4% van totaal-N) t.o.v. van passief (0,5-0,8% van totaal-N). Voor CH_4 waren de emissies bij actieve compostering hoger in de winter maar lager in de zomer t.o.v. passieve compostering. Hüther (1999) rapporteerde N_2O emissies tussen 0,3 en 1,5% of totaal-N. Ze vonden lagere CH_4 - en N_2O emissies, maar hogere NH_3 -emissies, wanneer de vaste mest werd belucht.

In het onderzoek van Mosquera et al. (2005b) naar de emissies uit een potstal voor melkvee werden zeer lage methaanemissies gemeten direct na het opslaan van de potstalmest buiten de stal. Twee weken na het storten van de mest was de methaanemissie $0,20 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ (26,5 g CH_4 -C per dag en m^3 mest), een factor 4 lager dan de emissie uit de stal. Lachgasemissies uit de mestopslag waren verwaarloosbaar. Het niveau van de methaanemissie uit de mestopslag was vergelijkbaar met resultaten gerapporteerd bij Sommer *et al.* (1998) en Husted (1994). In het experiment van Sommer *et al.* (1998) werd tot 80 dagen na start van de mestopslag de methaanemissie gemeten. Tussen dag 30 en 40 werd een maximale emissie van $40 \text{ g} \text{ CH}_4\text{-C} \cdot \text{dag}^{-1} \cdot \text{ton}^{-1}$ gemeten, tussen dag 40 en 50 was de emissie nagenoeg 0 (van de voorgaande dagen waren geen meetresultaten beschikbaar).

Mosquera et al. (2005b) vond hoge NH_3 -emissies uit de mestopslag buiten de stal alleen gedurende de eerste uren na het storten van de mest (pot). Emissiereductie voor de mestopslag zou dus in principe worden bereikt door de mest direct vanuit de stal op het land toe te dienen. Daarbij is zeer belangrijk dat de emissie bij mesttoediening ook wordt geminimaliseerd door de mest direct na toediening goed onder te werken (Huijsmans, 2003). Wanneer toch een mestopslag buiten de stal noodzakelijk is, kan het afdekken van de mesthoop de emissie verminderen. Uit verschillende onderzoeken blijkt dat het afdekken van mest met een schone strolaag de ammoniakemissie omlaag kan brengen (De Bode, 1989a; Groenestein en Reitsma, 1993; Hol en Groot Koerkamp, 1999; Hörnig et al., 1999; Sommer et al., 1993). Clemens et al. (2006) vonden 20% lagere NH_3 -emissies, maar geen significant verschil in CH_4 - en N_2O -emissies na het afdekken van een mestopslag met vergiste mest met een strolaag t.o.v. de niet afgedekte mestopslag. In Yamulki (2006), de emissies van N_2O en CH_4 waren respectievelijk 40% en 45-51% lager na het afdekken van de mestopslag met een laag stro. Amon et al. (2006) rapporteren echter hogere emissies van NH_3 , CH_4 en N_2O (respectievelijk, 24%, 22% en meer dan 100% hogere emissies) na het afdekken van een mestopslag voor drijfmest met een strolaag t.o.v. van een niet afgedekte mestopslag.

Het afdekken met luchtdicht materiaal, dat toegepast wordt bij mestsilos, kan de emissie uit mestopslagen verminderen (Amon et al., 2007; De Bode, 1989b; Clemens et al., 2006; Hansen et al., 2006; Hilhorst et al., 2001; Portejoie et al., 2003). Hansen et al. (2006) onderzocht de invloed van afdekken op de methaan-, lachgas en ammoniakemissie bij de opslag van de vaste fractie van anaeroob vergiste varkensmest. De emissies van NH_3 , N_2O en CH_4 waren respectievelijk 12, 99 en 88% lager na afdekking met luchtdicht materiaal t.o.v. de situatie zonder afdekking. In Amon et al. (2007) was de reductie 30% en 50% respectievelijk voor NH_3 en broeikasgassen. Portejoie et al. (2003) rapporteren een reductie van 75-100% voor verschillende afdekkingmaterialen. In het onderzoek van Hilhorst et al. (2001) werd een reductie van 50% voor de emissie van CH_4 uit mestopslagen gemeten na afdekking van de mestopslag met luchtdicht materiaal. Clemens et al. (2006) vonden een emissiereductie van tussen 10-25% voor CH_4 , 20-65% voor NH_3 , en geen reductie tot 15% reductie voor N_2O .

In het onderzoek van Amon et al. (2006), wanneer de mest werd gescheiden en in aparte containers opgeslagen, was de netto CH_4 -emissie ~42% lager t.o.v. de onbehandelde mest. Mestscheiding leidde echter tot 10%-hogere N_2O -emissies, en een factor 8 hogere NH_3 -emissies, met name door compostering van de dikke fractie.

In tabel 5 worden de emissies van NH_3 , CH_4 en N_2O uit de mestopslag (buiten de stal) weergegeven. Behalve de emissies van opgeslagen varkensmest zijn ook data gegeven van melkveemest omdat de opslagsystemen voor vaste mest van melkvee en varkens vergelijkbaar zijn. Bovendien zijn de emissies vergelijkbaar omdat ze gerelateerd zijn aan de hoeveelheid N in de mest.

Tabel 5 NH₃, CH₄ en N₂O emissies uit de mestopslag (buiten de stal)

Diercategorie	Mestopslag	% van totaal-N		g CH ₄ m ⁻³ mest CH ₄	Referentie
		NH ₃	N ₂ O		
Melkvee	Aerobe opslag (compost)	8,0	0,3	142	Amon et al (2001)
Melkvee	Anaerobe opslag	2,1	0,5	1354	Amon et al (2001)
Melkvee	Aerobe opslag (compost)	3,7	0,4	692	Amon et al (2001)
Melkvee	Anaerobe opslag	0,6	0,8	512	Amon et al (2001)
Melkvee	Drijfmest	0,9	0,3	4045,7	Amon et al (2006)
Melkvee	Mestscheiding (dunne mest)	0,8	0,1	1833	Amon et al (2006)
Melkvee	Mestscheiding (vaste mest)	4,6	0,2	510,6	Amon et al (2006)
Melkvee	Vergiste drijfmest	0,3	0,6	1342,6	Amon et al (2006)
Melkvee	Beluchte drijfmest	1,1	0,7	4904,1	Amon et al (2006)
Melkvee	Drijfmest afgedekt (stro)	4,4	0,8	1731,7	Amon et al (2006)
Melkvee	Drijfmest	2,8	1,3	164,3	Clemens et al (2006)
Melkvee	Drijfmest afgedekt (hout)	2,0	1,1	142	Clemens et al (2006)
Melkvee	Vergiste drijfmest	2,5	1,2	111,3	Clemens et al (2006)
Melkvee	Vergiste drijfmest afgedekt (stro)	2,0	1,2	114,5	Clemens et al (2006)
Melkvee	Vergiste drijfmest afgedekt (stro+hout)	1,9	1,3	81,1	Clemens et al (2006)
Melkvee	Drijfmest	4,2	1,4	3591,2	Clemens et al (2006)
Melkvee	Drijfmest afgedekt (hout)	2,3	1,7	2999	Clemens et al (2006)
Melkvee	Vergiste drijfmest	8,9	2,2	1154,2	Clemens et al (2006)
Melkvee	Vergiste drijfmest afgedekt (stro)	5,0	2,3	1191,9	Clemens et al (2006)
Melkvee	Vergiste drijfmest afgedekt (stro+hout)	3,1	1,9	1021,4	Clemens et al (2006)
Melkvee (trad)	Vaste mest	---	0,5	88	Yamulki (2006)
Melkvee (trad)	Vaste mest + stro	---	0,3	48	Yamulki (2006)
Melkvee (biol)	Vaste mest	---	0,2	43	Yamulki (2006)
Melkvee (biol)	Vaste mest + stro	---	0,2	22	Yamulki (2006)
Varkens	Drijfmest afgedekt	2,3	0,8	170	Amon et al (2007)
Varkens	Drijfmest	3,9	0,6	250	Amon et al (2007)
Varkens	Drijfmest afgedekt	0,5	0,4	100	Amon et al (2007)
Varkens	Drijfmest	0,6	0,8	160	Amon et al (2007)
Varkens	Vergiste mest	0,3	3,0	2133	Hansen et al (2006)
Varkens	Vergiste mest afgedekt (kunststof)	0,2	0,0	267	Hansen et al (2006)

6 Perspectief van andere strooiselmaterialen dan stro

Stro is een veelzijdige oplossing voor de invulling van vele behoeften van het varken. Stro heeft zo ook een sterke positieve invloed op het welzijn. De verschillende eigenschappen van stro kunnen echter ook ingevuld worden door andere materialen of voorzieningen. Tabel 6 geeft aan bij welke behoefte van de varkens stro een rol kan spelen. De lengte van de lijst geeft al aan dat het lastig is om alternatieven te vinden die veel van deze eigenschappen in zich verenigen.

Tabel 6 De rol van stro in het voldoen aan de behoeften van varkens

Behoefte	Trefwoorden	Rol van stro
Beweging	Verschillende functiegebieden (rust, eet, mest en exploratie gebieden) Waarbij voldoende beweging gegarandeerd is.	Aangeven functiegebieden Zachte stroeve ondergrond
Exploratie	Uitdagende, veranderlijke omgeving. Stimuleren van onderzoekend gedrag. Synchronisatie van gedrag	Wroetsubstraat, manipuleerbaar en veranderlijk
Dieet	Voer en water vrij toegankelijk, competitie over voer en water vermijden	Ruwvoer, foerageer substraat
Excretie	Aparte mestruimte, stroeve vloer en veilige plaats	Grip, absorptie van vocht
Gezondheid	Geen ziekten of beschadigingen	Minder klauwproblemen Manipuleren hokgenoten wordt voorkomen.
Sociaal contact	Stabiele groepen, gesynchroniseerd kunnen eten en rusten	Minder onrust door voldoende exploratie mogelijkheden.
Thermoregulatie	Klimaatbeheersing, alle dieren moeten tegelijkertijd in zijligging vrij van elkaar kunnen liggen. Binnen thermoneutrale zone kunnen blijven.	Isolatie
Zelfverzorging	Schuurpaal en stroeve vloer om zich te kunnen krabben.	Minder gladde vloer
Rust	Comfortabele rustplaats (stro) met overzicht over de stal. Voldoende ruimte zodat alle dieren tegelijkertijd op hun zij kunnen rusten.	Zachte ondergrond Slaapnesten
Nestbouw	Mogelijkheden tot nestbouw, kunnen afzonderen. Geschikt materiaal voor nestbouw	Materiaal voor nestbouw

De verschillende behoeften van varkens kunnen ook gedekt worden door andere materialen dan stro. Een zachte, stroeve en geïsoleerde ondergrond kan door verschillende soorten kunststoffen gerealiseerd worden. Als foerageer substraat zijn veel plantaardige materialen geschikt. Voor exploratie is alles wat veranderlijk of manipuleerbaar en niet schadelijk voor de dieren bruikbaar. Het grote voordeel van stro is dat het al deze behoeften dekt (Tuijttens, 2004). Alhoewel buiten de scope van dit onderzoek wordt stromest uiteindelijk ook op het land gebracht, veelal gecomposteerd na opslag. Compost heeft een gunstig effect op de bodemkwaliteit omdat hiermee meer organische stof ten goede komt aan de bodem, tevens wordt het gezien als een bodemstructuurverbeteraar.

7 Conclusies en bevindingen

In de Nederlandse varkenshouderij anno 2009 zijn ongeveer 250-300 strostallen in gebruik voor drachtige zeugen in de gangbare varkenshouderij (circa 8%) en voor alle diercategorieën in de biologische varkenshouderij (50-60 bedrijven). In de biologische varkenshouderij is de groei klein door een geringe toename in de vraag naar biologisch varkensvlees. De groei bedraagt enkele procenten per jaar, met name door een toename van het aantal dieren per bedrijf. Het aandeel biologisch in de varkenshouderij op dierniveau is 0,4-0,5%.

Hoewel er geen harde cijfers bekend zijn, zijn er de laatste jaren niet veel nieuwe strostallen gebouwd. Mogelijke belemmeringen die vanuit de praktijk naar voren komen en in dit rapport benoemd zijn:

- Er is veel kennis omtrent factoren die een rol spelen bij de totstandkoming van de emissies, maar kwantitatieve kennis omtrent emissies uit strooiselsystemen is beperkt en varieert sterk, mede door het feit dat strooiselsystemen onderling ook sterk variëren qua hoeveelheid strooisel, type strooisel, stalinrichting en (stro)management.
- Op basis van onderzoeksgegevens in de internationale literatuur kan geconcludeerd worden dat variatie in ammoniakemissie tussen strosystemen groot is, maar dat niet geconcludeerd kan worden dat het toepassen van stro per definitie een hogere ammoniakemissie impliceert ten opzichte van drijfmestssystemen.
- Bij strosystemen moet bij de stalinrichting en het management rekening worden gehouden met het risico van emissies van overige broeikasgassen CH₄ en N₂O uit zowel de stal als de mestopslag buiten de stal.
- De rondloopstal, een strostal voor dragende zeugen is een emissiereducerend systeem met een emissiefactor van 2,6 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Voor andere strosystemen is bij mechanisch geventileerde stallen op dit moment alleen met een luchtwasser extra "emissieruimte" te maken, wat mogelijkheden biedt voor uitbreiding van het aantal dieren op het bedrijf;
- Er is meer arbeid nodig in vergelijking met voerstations zonder stro en voerligboxen met uitloop
- De afzet van stromest is niet altijd even gemakkelijk
- Strostallen hebben lagere vaste kosten, maar hogere variabele kosten in vergelijking met groepshuisvestingsystemen zonder stro.
- Het risico van hoge stofconcentraties is in strosystemen over het algemeen groter dan in drijfmestssystemen.
- Strostallen worden meestal natuurlijk geventileerd; de geurcontouren van een natuurlijk geventileerde stal kunnen verder weg liggen dan die van een mechanisch geventileerde stal, omdat de stal over de volledige zijgevels open is en niet één ventilatiekoker als emissiepunt heeft.
- Strostallen vallen buiten de Maatlat Duurzame Veehouderij (MDV). Wanneer dit wel het geval zou zijn, zouden de daaraan verbonden fiscale voordelen (Vamil/MIA) haalbaar zijn.
- Andere materialen dan stro kunnen een alternatief zijn, maar stro dekt qua welzijn de meeste behoeften van het varken.
- Stro past goed in stallen met varkens die weinig warmte produceren, zoals guste en drachtige zeugen en gespeende biggen. Bij diercategorieën met een hoge warmteproductie dient bij de stalinrichting rekening gehouden te worden met het risico van hittestress.

8 Aanbevelingen

- Het inpassen van strogebruik in de bedrijfsvoering kan geoptimaliseerd worden, zoals automatisering van instrooisystemen en mestafvoersystemen om de fysieke belasting voor de varkenshouder te verminderen.
- Een mogelijkheid om het periodieke werk, strokosten en emissies te minimaliseren is het beperken van hokbevuiling. Daarvoor is meer kennis over de sturing van mestgedrag in complexe strosystemen noodzakelijk.
- Om de afzet van stromest te bevorderen kan een modus gezocht worden om deze te optimaliseren en/of te faciliteren met aandacht voor de effecten t.a.v. bodemverbetering.
- Hoewel in de praktijk het milieuprobleem m.b.t. de emissies niet zo ervaren wordt, is meer inspanning nodig om emissiearme systemen voor strostallen te ontwikkelen. Hierbij is een integrale benadering ten aanzien van de emissie van ammoniak, methaan, lachgas, fijnstof en geur gewenst, alsmede ten aanzien van de mestketen: stal, opslag en mesttoediening en eventuele mestbewerking.
- Het is wenselijk om bij het zoeken naar milieutechnische oplossingen voor strostallen te starten met het toetsen van de ammoniakreducerende oplossingen in de gangbare stroloze systemen.
- Om emissies uit opgeslagen vaste mest te reduceren lijkt afdekken een perspectiefvolle methode.

Literatuur

- Aarnink, A.J.A. (1997) Ammonia emission from houses for growing pigs as affected by pen design, indoor climate and behaviour. Thesis Wageningen University, ISBN 90-5406-151-0.
- Aarnink, A.J.A., A. Keen, J.H.M. Metz, L. Speelman and M.W.A. Verstegen (1995). Ammonia emission patterns during the growing periods of pigs house don partially slatted floors. *Journal of Agricultural Engineering Research* **62**, 105-116.
- Aarnink, A.J.A., A. Scheer, A.I.J. Hoofs, M.A.H.H. Smolders and D. Swierstra (2001). De Herculesstal voor vleesvarkens uitgetest onder semi-praktijkomstandigheden. IMAG Nota V 2001-61.
- Aarnink, A.J.A., M. Wagemans and G.M. Nijeboer (2004). Emissies uit een welzijnsvriendelijke stal voor vleesvarkens: het Canadian Bedding System. Agrotechnology & Food Innovations Rapport 084.
- Aarnink, A.J.A., W. Kroodsma, D. Swierstra, H.W.J. Houwers en N.W.M. Ogink. 2000 Scheiding van feces en urine in een vleesvarkensstal door een bolle band- of sleufvloersysteem. IMAG Nota V 2000-83, 46 pp
- Ahlgrimm, H.J., J. Breford and W. Asendorf (1999). Emissions of methane and nitrous oxide from different forms of pig fattening. Non-CO₂ greenhouse gases: scientific understanding, control and implementation. Proceedings of the second international symposium. The Netherlands, Noordwijkerhout, pp. 191-192. 8-10 September 1999.
- Altena, H., Vermeer, H.M. , Geijssel, T.A. (2004). Strohuisvesting van drachtige zeugen in grote groepen : knelpunten en oplossingen = Straw housing of pregnant sows in large groups: bottlenecks and solutions , PraktijkRapport Varkens nr 28, Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad, 56 p.
- Amon, B., T. Amon en J. Boxberger (1998). Investigation of the ammonia emissions from ghe agriculture in Austria for determination of potentials and possibilities of reduction. Forschungsprojekt Nr. L 883/94, Institut für Land, Umwelt- und Energietechnik der Universität für Bodenkultur, Vienna.
- Amon, B., Th. Amon, J. Boxberger and 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, M. Fröhlich, T. Amon, A. Pöllinger, I. Mösenbacher and 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.
- Amon, B., V. Kryvoruchko, T. Amon and 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.
- Bosma, A.J.J. en H.M. Vermeer, 2003. Beschikbaarheid van stro voor de Nederlandse varkenshouderij. Rapportage opdrachtgever, Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad, 15 p.
- Clemens, J., M. Trimborn, P. Weiland and B. Amon (2006). Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **112**, 171-177.
- De Bode, M.J.C. (1989a). Vermindering van ammoniakemissie door korstvorming op rundveemengmest. *IMAG Nota* **462**.
- De Bode, M.J.C. (1989b). Emissie van ammoniak en geur uit mestilo's en de vermindering van emissie door afdekking. *IMAG Nota* **465**.
- Delcourt, M., M. Vandenheede, A. Desiron, M. Laitat, B. Canart and B. Nicks (2001). Emissions d'ammoniac, de protoxyde d'azote, de méthane, de gaz carbonique et de vapeur d'eau lors d'élevage de porcs charcutiers sur litière accumulée de sciure: quantification et corrélations avec le niveau d'activité des animaux. *Ann. Méd. Vét.* **145**, 357-364.
- Dewes, T. (1996). Biotisch und abiotisch bedingte NH₃-emissionen während der lagerung von stallmist. *Agribiol. Res.* **49** (2-3), 203-210.
- Döhler, H. (1993). The deep litter/compost system. An environmentally and animal friendly housing system. *Landtechnik* **48**(3), 138-139.
- Ellen, H., K. Groenestein, M. Smits, 2007. Emissies uit opslag van vaste mest. *ASG-rapport* **58**, Wageningen UR.
- Elst –Wahle, L. ter, en G. den Brok, 1995. Gescheiden afvoer van vaste mest en urine in combinatie met spoelen. Praktijkonderzoek varkenshouderij, nr. 6, p. 19-21.
- Groenestein, C.M. and H.G. Van Faassen (1996). Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs. *J. Agric. Eng. Res.* **65**, 269-274.
- Groenestein, C.M. en B. Reitsma (1993). Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen X: potstal voor melkvee. *DLO-Rapport* **93-1005**.

- Groenestein, C.M. en J.W.H. Huis in 't Veld (1994). Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XV: potstal voor zoogkoeien. *DLO-Rapport 94-1006*.
- Groenestein, C.M., 2006. Environmental aspects of improving sow welfare with group housing and straw bedding. PhD thesis Wageningen University.
- Groot Koerkamp, P.W.G. (1994). Review on ammonia emission from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. *Journal of Agricultural Engineering Research* **59**, 73-87.
- Groot Koerkamp, P.W.G., J.H.M. Metz, G.H. Uenk, V.R. Phillips, M.R. Holden, R.W. Sneath, J.L. Short, R.P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schröder, K.H. Linkert, S. Pedersen, H. Takai, J.O. Johnsen en C.M. Wathes (1998). Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. *J. agric. Engng. Res.* **70**, 79-95.
- Hansen, M.N., K. Hendriksen and S.G. Sommer (2006). Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: effects of covering. *Atmospheric Environment* **40**, 4172-4181.
- Hesse, D. (1994). Comparison of different old and new fattening pig husbandries with focus on environment and animal welfare. In Proceedings XII World Congress on Agricultural Engineering, Mailand, 29 October – 1 September 1994.
- Hilhorst, M.A., R.W. Melse, H.C. Willers, C.M. Groenestein and G.J. Monteny (2001). Effective strategies to reduce methane emissions from livestock. ASAE, paper no 01-4070.
- Hol, J.M.G. en P.W.G. Groot Koerkamp (1999). Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLIV. Rondloopstal voor dragende zeugen met voerstation en strobed. *IMAG Rapport 99-08*.
- Hörnig, G., M. Türk and U. Wanka (1999). Slurry covers to reduce ammonia emission and odour nuisance. *Journal of Agricultural Engineering Research* **73**, 151-157.
- Hoy, S., K. Müller and R. Willig (1997). Ammoniak- und Lachgasemissionen. Auswirkungen verschiedener Tierhaltungssysteme für Mastschweine. *Landtechnik* **52**(1), 40-41.
- Huijsmans, J.F.M. (2003). Manure application and ammonia volatilization. *PhD thesis*, Wageningen University.
- Huis in 't Veld, J.W.H. en G.J. Monteny (2003). Methanemissie uit natuurlijk geventileerde melkveestallen. *IMAG Rapport 2003-01*.
- Husted, S. (1994). Seasonal variation in methane emission from stored slurry and solid manures. *J. Environ. Qual.* **23**, 585-592.
- Hüther, L. (1999). Entwicklung analytischer methoden und untersuchung von einfludfaktoren auf ammoniak-, methan- und distichstoffmonoxidemissionen aus flüssig- und festmist. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* **200**.
- IPCC (1996). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- 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 1999, Wageningen.
- Kaiser, S. (1999). Analyse und Bewertung eines Zweiraumkompoststalls für Mastschweine unter besonderer Berücksichtigung der gasförmigen Stoffströme. Ph.D. Thesis, University of Göttingen, Germany.
- Kirchmann, H. and A. Lundvall (1998). Treatment of solid manures: identification of low NH₃ emission practices. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **51**, 65-75.
- Kroodsmas, W. en H.R. Poelma. 1985. Mestscheiding. IMAG-DLO, Wageningen, Rapport 209. 66 pp
- Leeuw, M.T.J. de en H.M. Vermeer, 2003. Instrooisystemen voor stro in de varkenshouderij. Rapportage opdrachtgever, Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad, 19 p.
- Leeuw, M.T.J. de, 2003. Kansrijke concepten voor afvoer van stromest. Rapportage opdrachtgever, 33 p.
- Melse, R.W. en H. Altena. 2001. Afvoer en scheiding van stromest van kraam zeugenmest met vijzelsysteem. Rapport 220. Praktijkonderzoek Veehouderij. 18 pp
- Monteny, G.J. (2000). Modelling of ammonia emissions from Dairy cow houses. Thesis Wageningen University, ISBN 90-5808-348-9.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol en J.W.H. Huis in 't Veld (2005a). Onderzoek naar de emissies van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee. I. Stal. *Agrotechnology & Food Innovations Rapport* **324**.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol en J.W.H. Huis in 't Veld (2005b). Onderzoek naar de emissies van een natuurlijk geventileerde potstal voor melkvee. II. Mestopslag buiten de stal. *Agrotechnology & Food Innovations Rapport* **325**.

- Nicks, B., M. Laitat, F. Farnir, M. Vandenheede, A. Désiron, C. Verhaeghe and B. Canart (2004). Gaseous emissions from deep-litter pens with straw or sawdust for fattening pigs. *Animal Science* 78, 99-107.
- Olsson, O., P. Johansson, en K. Ascárd, 1993. Systemlösningar för jordbrukets driftsbyggnader, Stallar för svinproduktion. Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, LBT, Lund, p. 32:1-32:5.
- Philippe, F.X., M. Laitat, B. Canart, M. Vandenheede en B. Nicks (2007a). 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, B. Canart, M. Vandenheede en B. Nicks (2007b). Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. *Livestock Science* 111, 144-152.
- Portejoie, S., J. Martinez, F. Guiziou, C.M. Coste (2003). Effect of covering pig slurry stores on the ammonia emission processes. *Bioresource Technology* 87, 199-207.
- Römer, G., P. Boeker and P. Schulze-Lammers (1994). Ammoniakemissionen von Festmist. *Landtechnik* 49 (2), 72-73.
- Seipelt, F., A. Ross, G. Steffens en H. van den Weghe (1999). Monitoring of gaseous emissions from naturally ventilated dairy houses using the tracer gas technique using the rate-of-decay method. In *Proceedings of the International Conference "Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming"*, pp. 69-74. Germany, 9-10 March 1999.
- Sommer, S.G., B.T. Christensen, N.E. Nielsen and J.K. Schjoerring (1993). Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: effect of surface cover. *Journal of Agricultural Science* 121, 63-71.
- Sommer, S.G., P. Dahl, H.B. Rom en H.B. Møller (1998). Emission of ammonia, nitrous oxide, methane and carbon dioxide during composting of deep litter. In *"8th International Conference on Management Strategies for Organic Waste Use in Agriculture"*. France, 26-29 May 1998.
- Stein, M. (1999). Are alternatively housed pigs ecologically friendly? www.agrar.de/aktuell.
- Swierstra, D., H.W.J. Houwers, W. Kroodsmma. 1999. Sleufvloer met mestschuif en mestscheiding in zeugenstal. *IMAG Nota* 99-134, 17 pp .
- Szanto, G.L., H.V.M. Hamelers, W.H. Rulkens and A.H.M. Veeken, 2007. NH₃, N₂O and CH₄ emissions during passively aerated composting of straw-rich pig manure. *Bioresource Technology* 98 (2007) 2659–2670
- Tamminga, S. (1992). Gaseous pollutants produced by farm animal enterprises. In *Farm Animals and the Environment*, eds. C. Philips and D. Piggins, ch. 20, 345-357. Tucson, AZ: CAB International.
- Thelosen, J.G.M., B.P. Heitlager and J.A.M. Voermans (1993). Nitrogen balances of two deep litter systems for finishing pigs. In *Proceedings of the First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences* (eds. Verstegen, M.W.A., L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen and J.H.M. Metz), pp. 318-323, Wageningen, The Netherlands.
- Timmerman, M., en H. Altena, 2001. Ammoniakemissie uit spoelgoten bij scharrelkraamzeugen en biggen. *Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad*. Rapport 226.
- Tuytens, F.A.M., 2005. The importance of straw for pig and cattle welfare: a review. *Applied Animal Behaviour Science* 92: 261-282.
- Vrieling, M.G.M., 1995 Haglando-mestschuif in vleesvarkensstallen. *Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad*. Proefverslag nummer P 4.11, oktober 1995.
- Vermeer, H.M., C.M. Groenestein, P.F.M.M. Roelofs, 2007. Blauwdruk van bedrijfssystemen voor biologische varkens met minder fysieke belasting, ASG rapport 40, Wageningen UR.
- Winkel, A. en A.J.A. Aarnink, 2009. Blootstelling aan fijnstof in de biologische houderij. Wageningen UR Livestock Research. Rapport 284, in druk.
- Yamulki, S. (2006). Effect of straw addition on nitrous oxide and methane emissions from stored farmyard manures. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, 140-145.



Wageningen UR Livestock Research

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

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