



Ontwikkeling van een eenvoudige procedure voor de bepaling van geur- en ammoniakemissies van agrarische constructies ten behoeve van een aangepaste milieureglementering in Vlaanderen



DEEL 1
Ammoniak- en geuremissies door de veeteelt – bronnen en reductietechnieken

Eindverslag
Januari 2001



Katholieke
Universiteit
Leuven



Vlaamse
Gemeenschap



UNIVERSITEIT
GENT

Ontwikkeling van een eenvoudige procedure voor de bepaling van geur- en ammoniakemissies van agrarische constructies ten behoeve van een aangepaste milieureglementering in Vlaanderen

DEEL 1

Ammoniak- en geuremissies door de veeteelt – bronnen en reductietechnieken

Ammoniakemissie

J. Hendriks¹
A. Andries¹
P. Saevels¹
C. Leribaux¹
E. Vranken¹
C. Vinckier²
D. Berckmans¹

K.U.Leuven

¹Labo Agrarische Bouwkunde

²Labo Analytische en
Anorganische Chemie

Geuremissie

G. De Bruyn
M. Baron
H. Van Langenhove

De leden van het geurpanel

R.U.Gent

Vakgroep Organische Chemie

Eindverslag
Januari 2001

PROJECTSITUERING

Voorgeschiedenis

In het kader van de Commissie Evaluatie Milieu-uitvoeringsreglementering werden in de loop van 1997 de implantingsregels VLAREM II voor stallen geëvalueerd. De evaluatie toonde duidelijk aan dat omtrent deze regels bijkomend onderzoek noodzakelijk was. Vooral het ontbreken van een betaalbare methode, inzetbaar op een grotere schaal, voor een objectieve bepaling van de ammoniak- en geuremissies van agrarische constructies in de praktijk, bleek op dat moment een hinderpaal te zijn.

Op vraag van de Administratie Land- en Tuinbouw (ALT), en mede onder impuls van ir. Luc Reyns, werd een samenwerking tussen de K.U.Leuven, Labo Agrarische Bouwkunde (o.l.v. professor D. Berckmans) en de R.U.Gent, Vakgroep Organische Chemie (o.l.v. professor H. Van Langenhove) opgestart.

Uiteindelijk leidde dit tot het indienen van het projectvoorstel 'Ontwikkeling van een eenvoudige procedure voor de bepaling van geur- en ammoniakemissies van agrarische constructies ten behoeve van een aangepaste milieureglementering in Vlaanderen' (zie bijlage I).

Het projectvoorstel werd ingediend in het kader van het 'Programma Beleidsgericht Onderzoek', oproep van november 1997 door de Administratie Wetenschap en Innovatie, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Het voorgestelde project sloot aan bij actie 48 'Haalbaarheidsstudie reductie geur- en ammoniakemissie op stalniveau', actie 47 'Actiepunten voor de reductie van methaan- en ammoniakemissie' en actie 52 'Verzuring' van de oproep.

Doelstellingen van het project

Volgende doelstellingen werden vooropgesteld in de projectaanvraag:

“Het is de bedoeling om in dit onderzoeksproject met betrekking tot de milieureglementering voor landbouwbedrijfsgebouwen en mestopslagsystemen een haalbaarheidsstudie voor geur- en ammoniakemissie reductie uit te voeren. Deze studie ligt aan de basis van een objectieve procedure voor milieulabelling van landbouwbedrijfsgebouwen(cfr. afstandsregels op basis van waarderingspunten in VLAREM II).

Hiertoe zullen volgende concrete doelstellingen gerealiseerd worden:

- 1. een grondige literatuurstudie dient uit te wijzen welke geur- en ammoniakreductietechnieken reeds bestaan en toegepast worden bij de intensieve veehouderij. Deze inventaris zal zowel nageschakelde als geïntegreerde maatregelen omvatten. Voor elk van deze technieken zal een technische efficiëntie-analyse en een economische evaluatie uitgevoerd worden, wat kan leiden tot een koppeling van de reductiemogelijkheid aan de kostprijs.*
- 2. het uitwerken van een eenvoudige, wetenschappelijk verantwoorde en op grote schaal realiseerbare procedure om geur- en ammoniakemissies te bepalen van bestaande en nieuwe agrarische constructies.*
- 3. het op praktijkschaal vergelijken van hiervoor in aanmerking komende technieken zoals:*
 - voor ammoniak:*
 - 1. een stikstofbalansmethode*
 - 2. een elektronisch sensorprincipe*
 - 3. een optische methode op basis van een infrarood meettechniek*
 - 4. recent beschikbare electrochemische sensoren**met een directe wetenschappelijk gefundeerde referentiemethode (debietsensor + NOx- analyser) op basis van veldmetingen. De referentiemethode is beschikbaar uit een voorgaand project (Ministerie van Landbouw)*
 - voor geur*
 - 1. het benaderen van de problematiek vanuit immissie-oogpunt met snuffelploegen*
 - 2. het benaderen van de problematiek vanuit emissie-oogpunt met olfactometrische metingen*
 - 3. het uittesten van de toepasbaarheid van elektronische sensoren (electronische neus)*
 - 4. het uittesten van de toepasbaarheid van chemische analyses”*

De eerste doelstelling, een grondige literatuurstudie van beschikbare geur- en ammoniakreductietechnieken, is uitgewerkt in Deel I ‘Ammoniak- en geuremissies door de veeteelt – bronnen en reductietechnieken’.

De resultaten van het onderzoek naar nieuwe meettechnieken, doelstelling 3, zijn terug te vinden in Deel II 'Meetprocedure voor ammoniak- en geuremissies van agrarische constructies'.

Op basis van Deel I en Deel II werd een voorstel van beoordelingsrichtlijn uitgewerkt, dewelke terug te vinden is in Deel III 'Voorstel beoordelingsrichtlijn'.

Verloop van het project

Het project werd opgestart op 1 oktober 1998. In de loop van het project werden 4 stuurgroepvergaderingen georganiseerd (3 mei 1999, 22 oktober 1999, 25 mei 2000 en 13 oktober 2000). Voor deze vergaderingen werden zowel vertegenwoordigers van de verschillende overheidsinstellingen als vertegenwoordigers van de landbouwsector uitgenodigd. Na iedere stuurgroepvergadering werd een tussentijds rapport afgeleverd.

Naast de 4 gebruikelijke stuurgroepvergaderingen, werd er op vraag van het ALT nog een bijkomende vergadering (6 maart 2000) georganiseerd. Doel van deze vergadering was een bijsturing van het project. Volgens het ALT werd er onvoldoende aandacht geschonken aan de problematiek rond de noodzaak voor een gebiedsgericht ammoniakbeleid in Vlaanderen. In samenspraak met de uitvoerders van het project werd daartoe overéengekomen hier meer aandacht aan te besteden. De resultaten van het onderzoek rond dit thema zijn terug te vinden in Deel II 'Meetprocedure voor ammoniak- en geuremissies van agrarische constructies' van het eindrapport, onder paragraaf 5.3 'Ammoniakbeleid'.

Het project werd officieel afgesloten op 1 oktober 2000.

Op 9 januari 2001 werd een laatste beperkte vergadering georganiseerd. Doel van deze vergadering was een beoordeling van een eerste versie van het eindrapport. De opmerkingen gemaakt tijdens deze vergadering werden verwerkt in het uiteindelijke eindrapport.

Stuurgroepleden

Volgende personen namen regelmatig deel aan de stuurgroepvergaderingen:

Overheid

- Luc Reyns Administratie Land- en Tuinbouw
- Bart Bollen Administratie Land- en Tuinbouw
- Koen Wellemans Administratie Land- en Tuinbouw
- Pieter Gabriëls Administratie Land- en Tuinbouw
- Luc De Leeuw VLM, Mestbank
- Dirk Van Gijseghem VLM, Mestbank
- Hilde Van Eeckhout VLM, Mestbank
- Johan Neiryndck IBW
- Koen Martens AMINAL – afdeling natuur
- Sofie Luyten AMINAL
- Hans De Schrijver AMINAL
- Gunther Van Broeck AMINABEL

Wetenschappelijk onderzoek

- Clemens Mensink VITO
- Ann Collen VITO
- Willy Cappelle CLO-DvL
- Martin Herny KULeuven – Labo Bos, Natuur en Landschap
- Jaak Christiaens RUGent – Biocentrum Agri-Vet
- Jan Meykens Bodemkundige Dienst van België
- Hans Vereecken KULeuven – Labo Bos, Natuur en Landschap

Landbouwsector

- Dirk Coucke DLV bouwadvies
- Dominique Pieters Lambert Geerkens
- Guido Janssens Boerenbond
- Arnold Kwanten AVEVE – Veredelingsstation
- Jaak Smeers Conitec NV.
- Michel Christiaens FEDAGRIM
- Herman Hautekiet AGRINBO
- Jo Van Parijs BEMEFA
- E. Van Daele BEMEFA

Graag zouden wij hen willen danken voor de medewerking aan dit project.

INHOUD

1	GEUREMISSIE VAN STALLEN	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Ontstaan van geurstoffen op landbouwbedrijven	2
1.2.1	De biologische vorming en oorsprong van de belangrijkste geurcomponenten op landbouwbedrijven	6
1.2.1.1	Vluchtige vetzuren	6
1.2.1.2	Deaminatie en decarboxylatie van aminozuren (Mackie et al., 1998)	7
1.2.1.3	Productie van indolen en fenolen (Mackie et al., 1998)	8
1.2.1.4	Productie van zwavel-bevattende componenten	8
1.2.2	Overzicht van het ontstaan van geurstoffen op landbouwbedrijven :	9
1.2.3	Aandachtspunten bij de identificatie van geurcomponenten op landbouwbedrijven	9
2	AMMONIAKEMISSIE VAN STALLEN	11
2.1	Proces van ammoniakvrijzetting	11
2.1.1	Ammoniakvorming in rundvee- en varkensmest	11
2.1.2	Ammoniakvorming in pluimveemest	13
2.1.3	Belangrijkste parameters die de ammoniakvrijzetting beïnvloeden	14
2.1.4	Belangrijkste variabelen die de ammoniakemissie beïnvloeden	16
2.2	Emissiefactoren	18
2.2.1	Absolute emissiefactoren	18
2.2.2	Relatieve emissiefactoren	19
3	RELATIE NH₃ - GEUR OP LANDBOUWBEDRIJVEN	24
4	REDUCTIETECHNIEKEN VOOR DE GEUREMISSIE	27
4.1	Beperking van geuremissies in de stal	27
4.1.1	Aanpassen huisvestingssysteem	27
4.1.1.1	Uitgevoerde onderzoeken naar geurreductie door gebouwaanpassingen op landbouwbedrijven	28
4.1.1.2	Gebouwaanpassingen op landbouwbedrijven die mogelijk leiden tot reductie van geuremissies	37
4.1.1.2.1	Beperking van het emitterend oppervlak	37
4.1.1.2.2	Beperking van geuremissies door snelle mestverwijdering	41

4.1.1.3	Gebruik van diepstrooiselstal voor varkens	58
4.1.2	Aanpassen van de voeding.....	61
4.1.2.1	Verandering van de voedersamenstelling	61
4.1.2.2	Toevoeging van water aan het voeder.....	64
4.1.3	Zuivering van de stallucht.....	65
4.1.3.1	Ontstoffen van de geëmitteerde stallucht.....	65
4.1.3.2	Zuivering van de stallucht met een biofilter en biowasfilter	66
4.1.4	Toepassen van het verdunningseffect.....	71
4.1.4.1	Hoge trekschouwen.....	71
4.1.4.2	Verdunning van ventilatielucht met een hoeveelheid verse lucht	72
4.1.4.3	Groenbeplanting.....	72
4.2	Geuremissiebeperking bij opslag van mest op landbouwbedrijven.....	73
4.2.1	Scheiding en beluchting van de mest.....	73
4.2.2	Toevoeging van additieven aan de mest.....	81
4.2.3	Afdekken van mestopslagplaatsen.....	84
4.3	Beperking van geuremissies tijdens het uitrijden	89
4.3.1	Voorafgaande mestbehandeling van de uit te spreiden mest.....	89
4.3.2	Toepassing van verschillende uitspreidingstechnieken.....	91
4.3.3	Algemeen overzicht van de beperking van geuremissies tijdens het uitrijden van varkensmest.....	94
5	REDUCTIETECHNIEKEN VOOR DE AMMONIAKEMISSIONE	97
5.1	Voedingsmaatregelen	97
5.1.1	Stikstofhuishouding.....	98
5.1.1.1	Niet herkauwers: varkens en pluimvee	98
5.1.1.1.1	Ideaal eiwit	98
5.1.1.1.2	Verteerbaarheid van het voedereiwit door niet-herkauwers	99
5.1.1.1.3	Stikstofbenutting bij niet-herkauwers	101
5.1.1.2	Herkauwers: rundvee.....	103
5.1.1.2.1	Verteerbaarheid van voeder door rundvee.....	103
5.1.1.2.2	Darmverteerbaar eiwit	105
5.1.1.2.3	Stikstofbenutting bij herkauwers	107
5.1.2	Reductiemaatregelen	110
5.1.2.1	Niet herkauwers: varkens en pluimvee	110
5.1.2.1.1	Beter afstemmen van het nutriëntenaanbod op de -behoefte van de dieren.....	111
5.1.2.1.2	De omzetting van ureum of urinezuur tot ammoniak beperken	129
5.1.2.1.3	Andere voederadditieven.....	131
5.1.2.2	Herkauwers: rundvee.....	133
5.1.2.2.1	Reductie van de stikstofverliezen.....	133

5.1.2.2.2	Rantsoensamenstelling	135
5.1.2.2.3	Gebruik van productiever melkvee	140
5.1.2.2.4	Verlaging van de urine-pH	140
5.1.3	Besluit	140
5.2	Stalsystemen	144
5.2.1	Rundveestallen	144
5.2.1.1	Standaardstal rundvee	145
5.2.1.2	Nieuwe concepten.....	146
5.2.1.3	Kostprijs nieuwe concepten.....	151
5.2.1.4	Toepasbaarheid in bestaande stallen.....	151
5.2.1.5	Controleerbaarheid	152
5.2.2	Varkensstallen	152
5.2.2.1	Standaardstal varkens.....	152
5.2.2.2	Nieuwe concepten.....	155
5.2.2.3	Kostprijs	164
5.2.2.4	Toepasbaarheid in bestaande stallen.....	165
5.2.2.5	Controleerbaarheid	166
5.2.3	Pluimveestallen	167
5.2.3.1	Standaardstal pluimvee	167
5.2.3.2	Nieuwe concepten.....	170
5.2.3.2.1	Groen label stallen voor (opfok)legghennen	170
5.2.3.2.2	Groen labelstallen voor vleeskuikenouderdieren.....	172
5.2.3.2.3	Groen labelstallen voor vleeskuikens	175
5.2.3.3	Kosten.....	178
5.2.3.4	Toepasbaarheid.....	179
5.2.3.5	Controleerbaarheid	179
5.3	Biofilters	180
5.3.1	Technisch-economische evaluatie.....	180
5.3.2	Kostprijs	183
5.3.3	Controleerbaarheid	185
5.4	Mestadditieven	186
5.4.1	Zuren of zuurproducerende toevoegmiddelen	187
5.4.1.1	Anorganische zuren	188
5.4.1.1.1	HCl.....	188
5.4.1.1.2	H ₃ PO ₄	188
5.4.1.1.3	H ₂ SO ₄	189
5.4.1.1.4	HNO ₃	189
5.4.1.2	Organische zuren	190

5.4.1.2.1	Amguard®	190
5.4.1.2.2	Clean Air 1®	191
5.4.1.2.3	Melkzuur.....	191
5.4.1.3	Zuurproducerende middelen	192
5.4.1.3.1	Lactobacillus plantarum.....	192
5.4.1.3.2	Kanne Getreide Flussig®.....	193
5.4.2	Ammoniumabsorberende producten.....	193
5.4.2.1	Zeolieten	193
5.4.2.2	Penac-G®	194
5.4.3	Middelen die bacteriën en/of enzymen bevatten.....	194
5.4.3.1	De-Odorase®.....	195
5.4.3.2	Actilith®	197
5.4.3.3	Nitrazyme®	198
5.4.3.4	Amibac®	198
5.4.3.5	Bionovase®	198
5.4.3.6	Byotech mest®	199
5.4.4	Chemische middelen	199
5.4.4.1	Neutromix®	199
5.4.4.2	S.62®	200
5.4.4.3	Kapto®	200
5.4.4.4	Superfosfaat.....	201
5.4.4.5	Ijzersulfaat	201
5.4.4.6	Fosforzuur en magnesiumoxide	202
5.4.4.7	CaCl ₂	202
5.4.4.8	Aluin en HiClay® aluinaarde	202
5.4.5	Praktische uitvoerbaarheid	203
5.4.6	Controleerbaarheid	205
5.5	Reductietechnieken voor mestopslag	206
5.5.1	Reductietechnieken.....	206
5.5.2	Kosten.....	208
5.5.3	Reductiepotentieel	208
6	TECHNISCH-ECONOMISCHE EVALUATIE VAN GEURREDUCTIETECHNIEKEN OP LANDBOUWBEDRIJVEN	209
7	TECHNISCH-ECONOMISCHE EVALUATIE VAN AMMONIAKEMISSION- REDUCTIETECHNIEKEN OP LANDBOUWBEDRIJVEN	222

8	LITERATUURLIJST	223
---	-----------------------	-----

1 Geuremissie van stallen

1.1 Inleiding

Op het eind van de jaren zestig werden er verschillende werkbesparende methoden ingevoerd die het voor de veehouders mogelijk maakten om met een beperkt aantal personeelsleden een grote hoeveelheid dieren te huisvesten. Dit had als gevolg dat er in de jaren zeventig en tachtig een zeer grote toename van het aantal dieren in deze sector ontstond. (Klarenbeek & van Harreveld, 1995) Deze economische evolutie bracht wel een aantal gevolgen met zich mee, waarbij geurhinder een belangrijk probleem is. Door de duidelijke waarneembaarheid van geur door de bevolking, leidt dit vaak tot klachten.

Op basis van een enquête gehouden bij de Vlaamse gemeentebesturen over de klachten tussen oktober 1992 en september 1993 enerzijds (Van Langenhove & De Roo, 1994) en op basis van de klachten binnengekomen bij de afdeling milieu-inspectie in de periode 1991-1995 anderzijds, werd een klachtenbestand gebundeld dat betrekking had op de landbouwsector. Uit dit gecombineerd klachtenbestand blijkt dat bij 24% van de geurklachten naar agrarische activiteiten verwezen wordt. De, in totaal 329 klachten rond de landbouwsector uit de gecombineerde bestanden, werden opgesplitst naar een aantal aanwijsbare diercategorieën. De opsplitsing gebeurde naar 'pluimvee', 'runderen', 'varkens' en 'overig vee', naar 'mesttoediening' en naar 'overige klachten'. Deze laatste categorie bevat alle klachten waarin 'landbouw' als bron werd opgegeven. Wanneer de categorie ('overige klachten') niet meegerekend wordt, ligt de verdeling binnen de aanwijsbare geurklachten als volgt : 31% komt van mesttoediening, 42% van de varkens, 20% van pluimvee, 5% van runderen en 2% van overig vee.

Geuren bij veestallen ontstaan hoofdzakelijk bij de afbraak van proteïne-bevattende afvalproducten. Deze proteïne-bevattende afvalproducten worden teruggevonden in de faeces, urine, huid, haar, voedsel en, indien deze aanwezig is, de bodembedekkende onderlaag (O'Neill & Phillips, 1991). De geurverbindingen komen vrij in de stal, bij de opslag van de mest en tijdens het uitrijden van de mest.

1.2 *Ontstaan van geurstoffen op landbouwbedrijven*

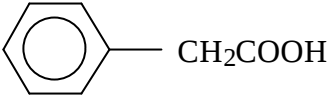
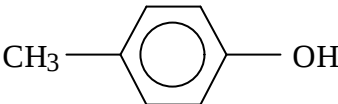
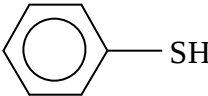
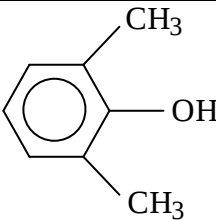
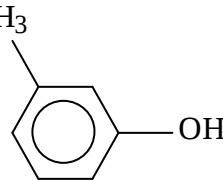
Sinds lange tijd wordt dierlijke productie reeds geassocieerd met geurhinder. De geur van het voedsel en de dieren zelf wordt over het algemeen niet aanzien als sterk hinderlijk. De stank ontstaat uit de mest en uit de mestafbraak gedurende de verzameling, bewerking, opslag en spreiding van de mest worden wel als hinderlijk ervaren. Mest is een complex mengsel van onverteerde voedselresten, endogene uitscheidingen, bacteriële cellen en hun metabolische eindproducten. Mest wordt anaëroob afgebroken onder verschillende vocht- en temperatuurcondities, resulterend in vluchtige geurcomponenten. (Mackie et al., 1998)

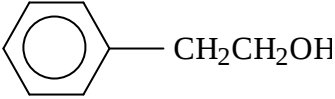
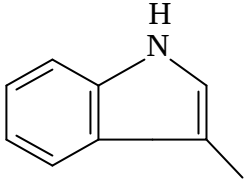
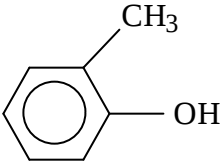
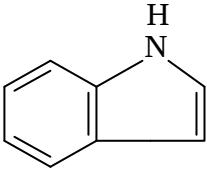
In de veehouderij worden aan het voeder van dieren grote hoeveelheden eiwitten en andere stikstof-componenten toegevoegd. Een deel hiervan wordt opgenomen in het lichaam van het dier of uitgescheiden als melk. Een groot deel wordt echter terug uitgescheiden in de faeces en in de urine.

Veel geurcomponenten worden geproduceerd gedurende de afbraak van eiwitten (Spoelstra, 1979). De bron van de eiwitten, die worden omgezet tot geurcomponenten in de darmen van de dieren, wordt gevonden bij de niet gebruikte eiwitten die teveel zijn in het voedsel. Anderzijds wordt er ook niet-eiwit stikstof microbieel omgezet tot eiwitten die dan op hun beurt worden afgebroken tot geurproducerende componenten (Pfeiffer, 1993).

O'Neill & Phillips (1992) hebben een inventarisatie gemaakt van de componenten die zouden bijdragen tot de geurhinder op veebedrijven. Zij vonden 168 componenten die hiervoor mogelijk verantwoordelijk zijn. Deze componenten werden geïdentificeerd ofwel in de stallucht, ofwel in de vaste of vloeibare mestfractie. Van een aantal van deze componenten is de geurdrempel niet gekend, maar hun chemische structuur doet vermoeden dat deze ook zouden bijdragen tot de geurhinder rond de landbouwbedrijven. Van de 168 componenten zijn er 30 (zie tabel 1) met een geurdrempel $< 0.001 \text{ mg/m}^3$, waarvan wordt aangenomen dat ze het meest bijdragen tot de geurhinder (O'Neill & Phillips, 1992).

Tabel 1. Componenten met geurdrempel lager dan 0,001mg/m³ (O'Neill & Phillips, 1992).

Geurdrempel-gebied [mg/m ³] (van Gemert & Nettenbreijer, 1977)	Naam	Structuur
< 0,00001	methaanthiol	CH ₃ SH
	2-propaanthiol	(CH ₃) ₂ CHSH
	2-propeen-1-thiol	CH ₂ =CH ₂ CHSH
	2,3-butaandion	(CH ₃ CO) ₂
0,000011 - 0,00005	fenylazijnzuur	
	ethaanthiol	CH ₃ CH ₂ SH
	4-methylfenol (p-cresol)	
0,000051 - 0,00025	waterstofsulfide	H ₂ S
	1-octeen-3-on	C ₅ H ₁₁ COCH=CH ₂
0,00011 - 0,00025	benzeenthiool	
	2,4-decadien-1-al	C ₅ H ₁₁ CH=CHCH=CHCHO
	3-methylbutaanzuur	(CH ₃) ₂ C ₂ H ₃ COOH
	2,6-dimethylfenol	
	3-methylfenol	
	2,4-nonadien-1-al	C ₄ H ₉ CH=CHCH=CHCHO
	decanal	C ₉ H ₁₉ CHO

Geurdrempel-gebied [mg/m ³]	Naam	Structuur
0,00026 - 0,0005	trimethylamine	(CH ₃) ₃ N
	octaanzuur	C ₇ H ₁₅ COOH
	nonanal	C ₈ H ₁₇ CHO
	dimethylsulfide	(CH ₃) ₂ S
	diethyldisulfide	(C ₂ H ₅ S) ₂
	2-fenylethanol	
	3-methylindol (skatol)	
	butaanzuur	C ₃ H ₇ COOH
	2-methylfenol	
	2-buteen-1-thiol	CH ₃ CH=CHCH ₂ SH
	2-nonenal	C ₆ H ₁₃ CH=CHCHO
0,00051 - 0,001	indol	
	pentaanzuur	C ₄ H ₉ COOH
	butanal	C ₃ H ₇ CHO

(Geurdrempel = die concentratie van een stof of een mengsel van stoffen die door de helft van een groep waarnemers wordt onderscheiden van geurvrije lucht, CEN 2000).

In tabel 1 ziet men dat zelfs binnen de groep van 30 verbindingen met een geurdrempel $<0.001 \text{ mg/m}^3$ de spreiding op de geurdrempels van de verschillende verbindingen groot is. Naast identificatie van bepaalde geurcomponenten zullen de kwantiteit en de onderlinge kwantitatieve verhoudingen van de verschillende verbindingen dan ook bijdragen tot de vorming van een geur uit een veestal.

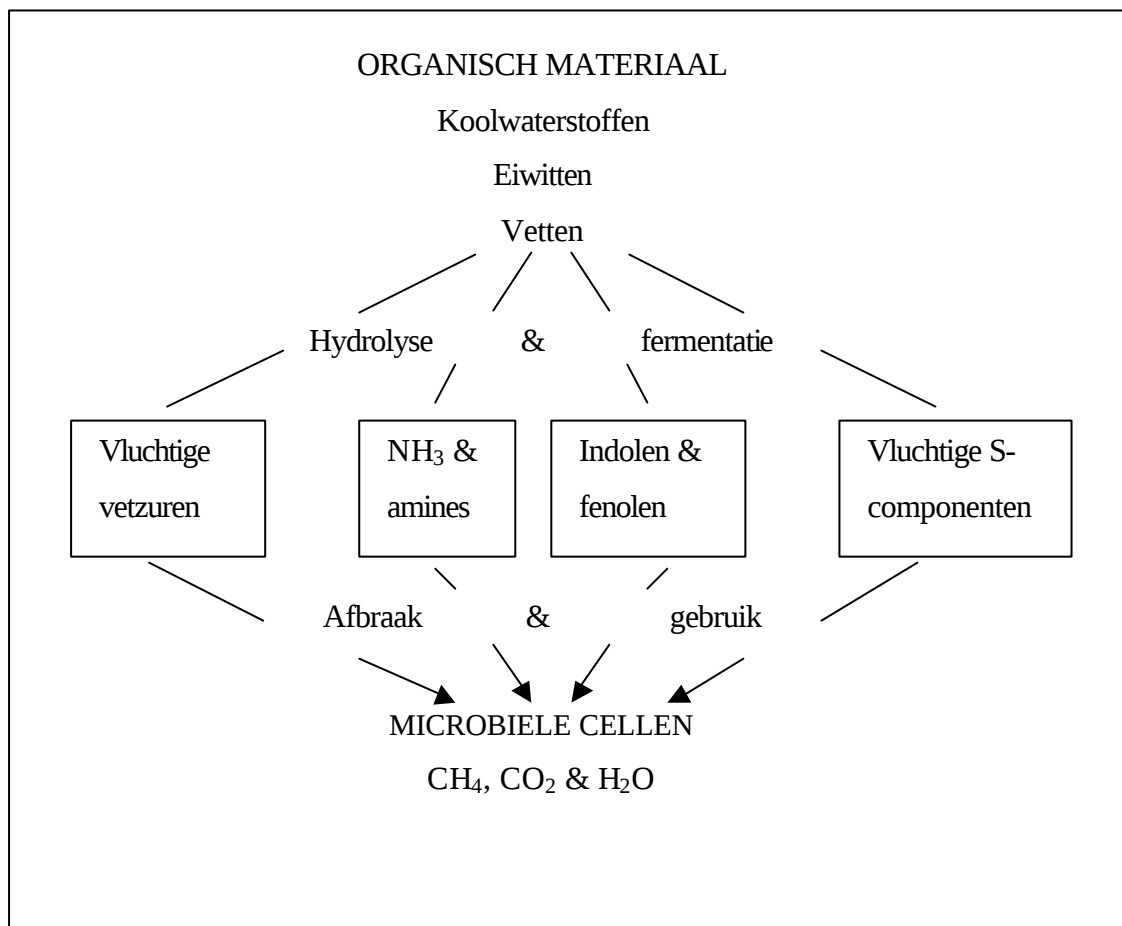
Door Hobbs et al. (1996) werden er 13 individuele componenten beschouwd die bijdragen tot de geur verspreid door varkens- en kippenmest. Ze werden gekozen door geurconcentraties van stalluchtmonsters te vergelijken met de resultaten bekomen uit chemische analyses van de respectievelijke monsters. De gekozen componenten behoren tot 4 grote groepen van verbindingen : namelijk sulfiden, vluchtige vetzuren, fenolen en indolen (tabel 2).

Tabel 2. Geurcomponenten in varkens- en kippenmest geïdentificeerd door Hobbs et al. (1996).

Sulfiden	Vluchtige vetzuren	Fenolen	Indolen
dimethylsulfide	azijnzuur	fenol	indol
dimethyldisulfide	propaanzuur	4-methyl-fenol	3-methyl-indol (skatol)
H ₂ S	boterzuur	4-ethyl-fenol	
	3-methylbutaanzuur		
	pentaanzuur		

1.2.1 De biologische vorming en oorsprong van de belangrijkste geurcomponenten op landbouwbedrijven

Figuur 1. Productie en afbraak van belangrijke geurcomponenten onder anaërobe condities (uit Mackie et al., 1998).



1.2.1.1 Vluchtige vetzuren

Anaërobe microbiële fermentatie draagt voor een belangrijk deel bij tot de voedselvertering en het metabolisme van dieren in de veehouderij. Hoofdzakelijk dan in het voorste gedeelte van de darm bij herkauwers (rundvee en schapen) en in mindere mate in de einddarm van niet-herkauwers (varkens en kippen). Organisch voedsel wordt gefermenteerd tot vluchtige vetzuren. Deze vluchtige vetzuren zijn vooral azijn- (C_2), propaan- (C_3) en boter- (C_4) zuur, en in mindere mate pentaan- (C_5), hexaan- (C_6) en heptaan- (C_7) zuur (Mackie et al., 1998).

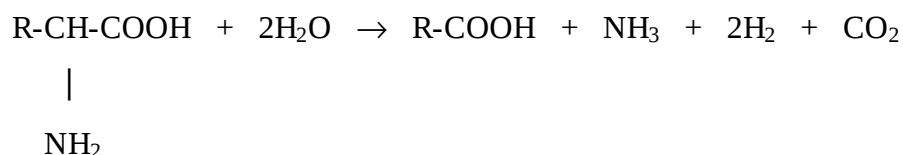
Volgens Mackie (1994) wordt de hinderlijkheid van de geur van vluchtige vetzuren verhoogd, naarmate de ketens langer en meer vertakt zijn. Kwantitatief bekeken zouden de zuren met

korte ketens (bv. azijnzuur en propaanzuur) dan minder bijdragen tot de geurproductie, zelfs als ze in veel grotere concentraties aanwezig zijn. In een onderzoek van Zhu et al. (1997) naar het gebruik van mestadditieven werden resultaten gevonden, die deze theorie ondersteunen.

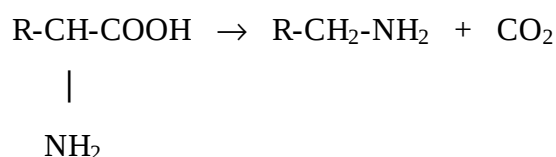
Dit is echter in tegenstelling met de indeling die O'Neill & Phillips (1992) maakten, waar boterzuur (ook een vluchtig vetzuur met korte keten) met zijn lage geurdrempel (zie tabel 1) in aanmerking komt als een belangrijke component die mogelijk bijdraagt tot geurhinder op landbouwbedrijven. Ook in de 13 componenten geïdentificeerd door Hobbs et al. (1996), worden de vluchtige vetzuren met korte ketens aangeduid als componenten die geurhinder veroorzaken. Meer onderzoek is dan ook nodig naar deze vluchtige vetzuren die, vaak ondanks hun lagere kwantiteit, sterk bijdragen tot de geur.

1.2.1.2 Deaminatie en decarboxylatie van aminozuren (Mackie et al., 1998)

In het gastroïntestinaalkanaal en ook in de mest heerst er over het algemeen een neutrale pH (6 à 7). Onder deze condities is deaminatie de hoofdweg voor de metabolisatie van aminozuren. Bij de deaminatie worden er vluchtige vetzuren, CO₂, H₂ en NH₃ gevormd. Het algemene mechanisme van de oxydatieve deaminatie is als volgt :



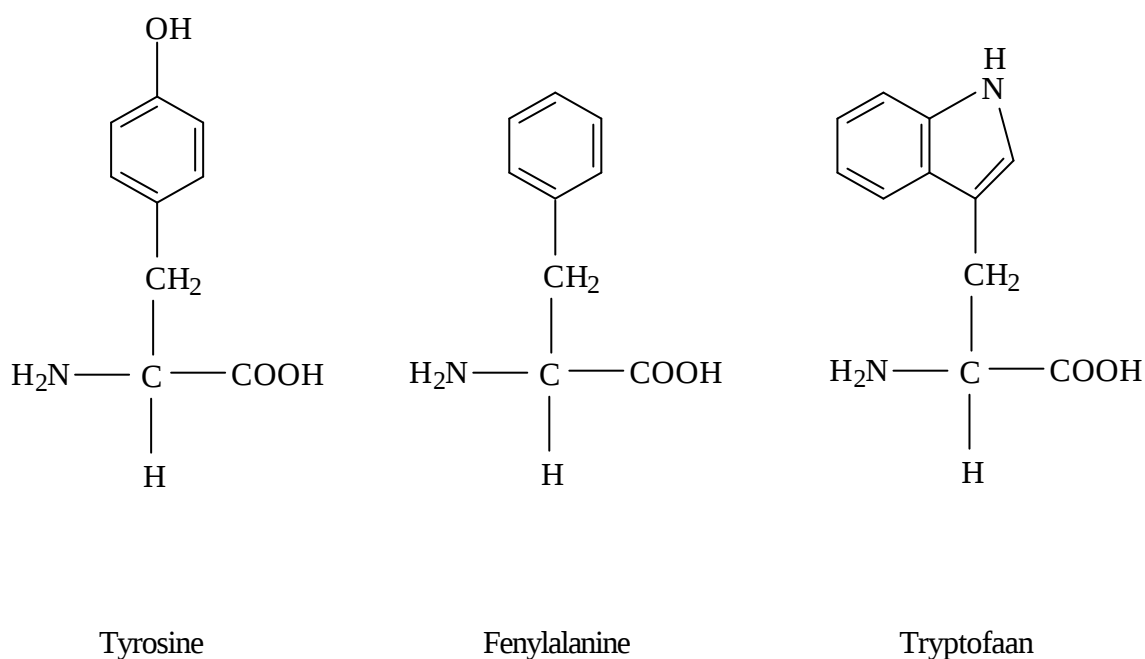
Onder bepaalde condities in het gastroïntestinaalkanaal en vooral gedurende de opslag van verse mest, kan er decarboxylatie plaatsvinden. Aminozuur decarboxylatie gebeurt bij een pH van 5 à 6 en is meestal betrokken bij de intracellulaire pH-regeling van bacteriële cellen. Het algemeen reactiemechanisme is als volgt :



Een voorbeeld van een amine met een geurdrempel kleiner dan 0.001 mg/m³ is trimethylamine (zie ook tabel 1).

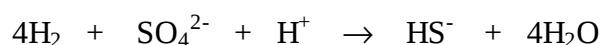
1.2.1.3 Productie van indolen en fenolen (Mackie et al., 1998)

Microbiële productie van fenolen en indolen resulteert uit de metabolisatie van aminozuren. De hoofdproducten uit de fermentatie van tyrosine zijn fenol, 4-methyl-fenol (*p*-cresol), 4-ethyl-fenol en gehydroxyleerde fenol-gesubstitueerde vetzuren. Fenyl-acetaat en fenyl-propionaat wordt gevormd uit fenylalanine. Indol en 3-methyl-indol (skatol) zijn de belangrijkste eindproducten in de metabolisatie van tryptofaan



1.2.1.4 Productie van zwavel-bevattende componenten

Voor de productie van zwavel-bevattende componenten door anaërobe bacteriën, wordt er zowel sulfaat gereduceerd als zwavel-bevattende aminozuren gemetaboliseerd. Bij reductie van zwavel, waarbij sulfaat gebruikt wordt als electronenontvanger worden grote hoeveelheden hinderlijke waterstofsulfide als volgt geproduceerd (Mackie et al., 1998):



Metabolisatie van zwavel-bevattende aminozuren zorgt voor de vorming van sulfiden en mercaptanen (Mackie et al., 1998):



1.2.2 Overzicht van het ontstaan van geurstoffen op landbouwbedrijven :

Vluchtige vetzuren	• Microbiële fermentatie van organisch voedsel • Oxydatieve deaminatie van aminozuren
NH ₃ & Amines	• Decarboxylatie van aminozuren • Deaminatie van aminozuren • NH₃ hoofdzakelijk via hydrolyse van ureum
Fenolen & Indolen	• Microbiële fermentatie van de aminozuren tyrosine, fenylalanine en tryptofaan
Vluchtige S-verbindingen	• Metabolisatie van zwavel-bevattende aminozuren • Reductie van sulfaat

1.2.3 Aandachtspunten bij de identificatie van geurcomponenten op landbouwbedrijven

Waar de componenten, die bijdragen tot geurhinder op landbouwbedrijven geïdentificeerd worden, is zeer belangrijk. Identificatie van componenten is mogelijk in de stal(/omgevings)lucht ofwel in de vloeibare of vaste mestfractie. Het vervluchtigen van componenten uit de mest is afhankelijk van het milieu waarin de componenten zich bevinden. Verschillende combinaties van temperatuur, pH, vochtgehalte van de mest en relatieve vochtigheid van de omgevingslucht zullen een rol spelen in de mate waarin bepaalde componenten uit de mest kunnen evaporeren.

Zo zal een vluchtig vetzuur zoals azijnzuur met een pKa van 4,75 (bij 20-25 °C) bij een pH van 6 à 7 voor de mest, overwegend in zijn gedissocieerde vorm in de mest aanwezig zijn. De fractie in de ongedissocieerde vorm bedraagt voor azijnzuur 0,006 bij pH=7. Aangezien het

de ongedissocieerde vorm is die vervluchtigt uit de mest, zal dit bij normale condities (pH=7) slechts een zeer kleine fractie zijn.

Uit voorgaand voorbeeld en het grote aantal mogelijke invloedsfactoren blijkt reeds dat het zeer moeilijk zal zijn om een aantal componenten aan te duiden die verantwoordelijk gesteld kunnen worden voor de geurhinder op landbouwbedrijven. Ook in de studie van Hobbs et al. (1996) waar getracht wordt de geurhinderproblematiek te herleiden tot 13 componenten, wordt er geen rekening gehouden met de amines. Deze zijn nochtans door andere onderzoekers (Miner et al., 1975) in stallucht geïdentificeerd.

Een ander punt waar rekening mee moet gehouden worden is over welke periode een hoeveelheid van geurcomponenten wordt gevormd uit de mest. Zo kan de mest over een korte periode een sterk ruikende emissie produceren ofwel een emissie over een langere periode constant houden. Verder onderzoek en kennis van de afbraak van eiwitten in mest is dan ook nodig om het biochemische proces te begrijpen dat de snelheid van afbraak van de geuren in de mest bepaald.

Belangrijk is ook te weten dat een mengsel van componenten anders ruikt dan de niet gemengde componenten, en dat in het algemeen de aangenaamheid van een geur afneemt naarmate de intensiteit toeneemt.

Conclusie :

op basis van de bestaande literatuur kunnen volgende algemene conclusies geformuleerd worden :

- er is reeds een groot aantal verbindingen (168) geïdentificeerd die mogelijk bijdragen tot de geurhinder op een landbouwbedrijf
- de meeste geurcomponenten worden gevormd onder anaërobe omstandigheden
- interpretatie van literatuurgegevens bij identificatie van geurcomponenten wordt bemoeilijkt omdat soms de vloeibare fractie geanalyseerd wordt zonder in de luchtfractie te meten
- selectie van een beperkt aantal verbindingen die “de geur van een veestal” benadert, is voorlopig nog niet mogelijk.

2 Ammoniakemissie van stallen

Tabel 3 geeft een overzicht van de geschatte ammoniakemissie door de veehouderij in Vlaanderen. In 1992 bedroeg de totale ammoniakemissie via de ventilatie van stallen in Vlaanderen naar schatting 30.4 kton NH₃. Dit betekent een bijdrage van ongeveer 50% van de totale emissie door de veeteelt in Vlaanderen. Het grootste deel hiervan wordt geëmitteerd door de varkenshouderij, nl. 17.1 kton NH₃ in vergelijking met 10.6 kton NH₃ door rundveestallen en 2.5 kton NH₃ door pluimveestallen (Pollet et al., 1996).

Tabel 3. Schatting van de jaarlijkse ammoniakemissie (in kton/jaar) door de veeteelt in Vlaanderen (1992)

	Rundvee	Varkens	Pluimvee	Overige vee	Totaal
Stal	10.6	17.1	2.5	0.1	30.4 (48%)
Mestopslag	/	/	/	/	0.01 (0.02%)
Toediening	10.5	17.8	0.8	0.07	29 (46%)
Weide	4	0	0	0.2	4.2 (6%)
Totaal	25.1 (39%)	34.9 (55%)	3.3 (5%)	0.4 (1%)	63.8 (100%)

Bron. Pollet et al., 1996

2.1 Proces van ammoniakvrijzetting

2.1.1 Ammoniakvorming in rundvee- en varkensmest

De vrijzetting van ammoniak uit dierlijke mest is het resultaat van de afbraak van in de mest aanwezige stikstofverbindingen. Bij rundvee- en varkensmest ontstaat ammoniak hoofdzakelijk ten gevolge van de afbraak van de stikstofverbinding ureum; bij pluimveemest is dit urinezuur.

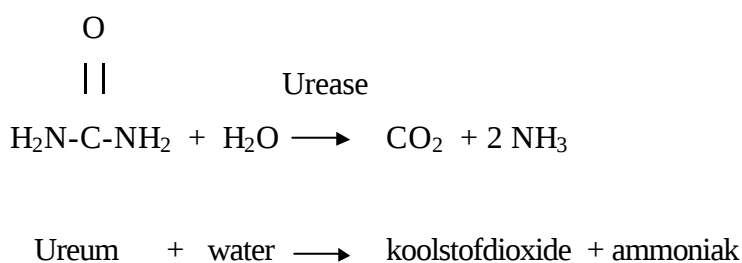
Het ontstaan van NH₃ in de rundvee- en varkensmest is vooral het gevolg van microbiële processen die de in de mengmest aanwezige stikstof (onder de vorm van ureum, eiwitverbindingen en peptiden) omzetten naar ammoniak.

Ureum is een stikstofverbinding die voorkomt in de urine van varkens en rundvee. Volgens Vertregt en Rutgers (1987) wordt een klein deel van de stikstof in de faeces snel omgezet naar ureum. Maar ammoniak wordt hoofdzakelijk gevormd door de afbraak van ureum die afkomstig is uit de urine.

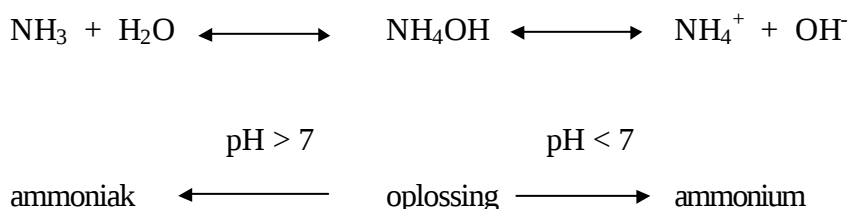
Deze afbraak wordt versneld door het enzym urease. Micro-organismen die dit enzym produceren, komen voor in de faeces (Moblely en Hausinger, 1989). Aangenomen wordt dat urease buiten de bacteriële cel werkt. Het enzym wordt door de fecale bacteriën afgescheiden met als doel NH_3 vrij te stellen dat dan kan gebruikt worden voor de vorming van bacterieel eiwit. De optimale werking van urease ligt bij $\text{pH} = 7$ en een temperatuur van 20°C . Mothes (1973) stelt dat de activiteit van de urease producerende bacteriën in zwak basisch milieu ($\text{pH} = 7,8$ tot $8,8$) het sterkst is.

Ureum (voornamelijk uit urine) kan dus onder invloed van urease die zich in de vaste mest bevindt, en in aanwezigheid van water, omgezet worden tot ammoniak.

De omzetting gebeurt via volgende reactie:



Hierbij geldt het volgende evenwicht:



De verhouding tussen $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ in de oplossing is afhankelijk van ondermeer de pH en de temperatuur.

Als urine en faeces niet met elkaar in aanraking komen, wordt ureum in principe niet of nauwelijks omgezet. Ureasevormende micro-organismen zijn echter in ruime mate op betonvloeren, op roosters en in mest aanwezig. Wanneer dus een stalvloer regelmatig met faeces en urine bevuild wordt, ontstaat op deze stalvloer een laag met micro-organismen die een hoge urease-activiteit heeft. In urine die op deze laag terechtkomt, wordt ureum veel sneller afgebroken (binnen enkele uren) dan in urine/faeces-mengsels op een schone stalvloer (Elzing et al., 1992).

Hoe snel op de vloer de actieve laag ontstaat, hangt af van allerlei factoren zoals temperatuur, vloerbevuiling met zowel urine als faeces, ruwheid van de vloer en eventueel schuifwerking.

Naast de afbraak van ureum treedt ook afbraak op van andere stikstofhoudende verbindingen (zoals eiwitverbindingen en peptiden). Voor het grootste deel van deze verbindingen geldt, dat ze voorkomen in de faeces en dat de afbraak ervan veel trager verloopt dan die van ureum. Bij het proces van emissie uit stal en opslag, speelt de afbraak van deze verbindingen geen belangrijke rol (Groot Koerkamp et al., 1990).

2.1.2 Ammoniakvorming in pluimveemest

Ammoniak is een stikstofverbinding die niet of nauwelijks voorkomt in de excreten van pluimvee. Onverteerde eiwitten en urinezuur vertegenwoordigen respectievelijk circa 30 en 70 procent van de totale hoeveelheid stikstof in de uitwerpselen. De onverteerde eiwitten zijn door het dier niet ge- of verbruikt, terwijl urinezuur in het lichaam gevormd is om overtollig stikstof in een niet-schadelijke vorm uit te scheiden. Na uitscheiding kunnen door micro-organismen uit deze twee stikstofverbindingen ureum ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), ammoniak ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), nitriet (NO_2^-), nitraat (NO_3^-), lachgas (N_2O), stikstofmonoxide (NO), stikstofgas (N_2) en microbiële eiwit worden gevormd.

De microbiële afbraak van eiwitten en urinezuur tot ureum en vervolgens ammoniak is één van de belangrijkste processen. Deze microbiële afbraak is sterk afhankelijk van de waterconcentratie. (Groot Koerkamp et al., 1990; Groot Koerkamp, 1994). De meeste reductietechnieken voor pluimveestallen werken dan ook op basis van een snelle droging van de mest.

Mest bestaat uit water en droge stof. Het water- en drogestofgehalte geven hun relatieve aandeel aan in de totale hoeveelheid mest op gewichtsbasis. Het watergehalte is daarmee een goede maat voor de totaal aanwezige hoeveelheid water. Niet al dit water is beschikbaar voor de micro-organismen die verantwoordelijk zijn voor de afbraak van eiwitten en urinezuur. Een deel van het water is namelijk gebonden aan bijvoorbeeld zouten. Alleen het ongebonden water kan worden gebruikt door de micro-organismen. De wateractiviteit (A_w) is een maat voor de concentratie ongebonden of vrij water.

Uit experimenteel onderzoek blijkt dat beneden een A_w van 0,7 de afbraak nagenoeg geheel tot stilstand komt. Hoewel wateractiviteit theoretisch de beste maat is voor de afbraaksnelheid, wordt doorgaans in de praktijk het drogestofgehalte van de mest als maat genomen. Verhogen van het drogestofgehalte door droging, verlaagt namelijk de wateractiviteit. Voor pluimveemest en strooisel wordt deze grenswaarde bereikt bij een drogestofgehalte tussen 70 en 90 procent. (Den hartog et al., 1994) De relatie tussen drogestofgehalte en wateractiviteit en de invloed van de mestsamenstelling daarop, is voor de gangbare mestsoorten van pluimvee nauwelijks bekend.

2.1.3 Belangrijkste parameters die de ammoniakvrijzetting beïnvloeden

Op basis van een theoretisch-fysische benadering kan de ammoniakvrijzetting uit een emitterend oppervlak als volgt in formulevorm weergegeven worden (Muck en Steenhuis, 1982; Muck en Richards, 1983):

$$E = \frac{k \times A \times [C] \times f}{H}$$

Met:

E = emissie (mol.s^{-1})

$[C]$ = som van de ammoniak (NH_3) en de ammonium (NH_4^+) concentratie (mol.l^{-1})

A = emitterend oppervlak (dm^2)

k = overdrachtssnelheidsconstante: deze hangt vooral af van de luchtsnelheid (dm.s^{-1})

- f = fractie van de totale hoeveelheid ammoniak en ammonium in de ammoniakvorm: deze is afhankelijk van de pH en de temperatuur (dimensieloos)
- H = constante van Henry: deze geeft in evenwicht de verhouding aan tussen opgeloste ammoniak en ammoniak als gas boven de oplossing. De temperatuur heeft een grote invloed op H (dimensieloos).

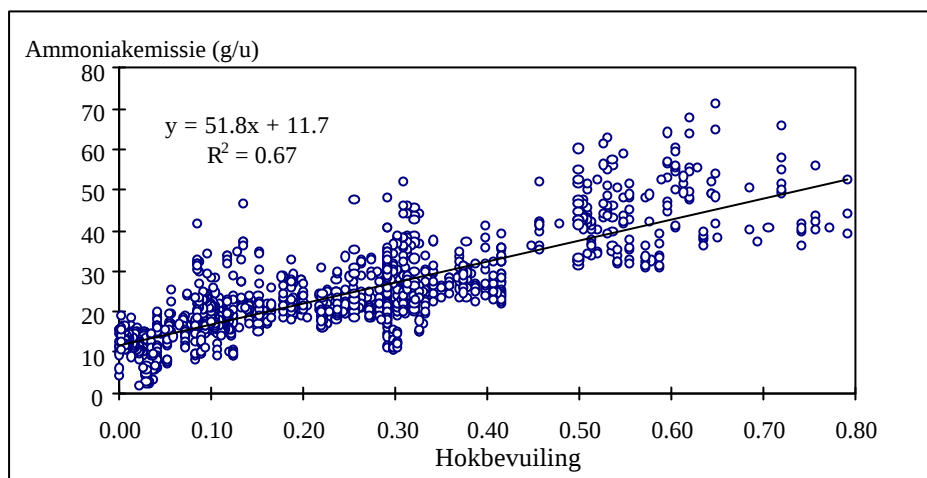
Het $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ evenwicht dat in de mest aanwezig is, is verantwoordelijk voor de uitstoot van ammoniak. De vrijzetting van NH_3 uit mest, gebeurt door diffusie en convectie. Nadat de ammoniak de overgang heeft gemaakt van de vloeibare naar de gasfase, zorgt de stalventilatie voor de vrijstelling van afvoer naar de atmosfeer.

De grootte van de ammoniakemissie hangt af van de volgende factoren: ammoniakconcentratie (en indirect de ureumconcentratie), temperatuur en luchtsnelheid over het mestoppervlak, de mesttemperatuur, pH en grootte van het emitterende oppervlak.

Het is duidelijk dat de emissie hoger is naarmate het emitterende oppervlak groter is. Bij een stal is het emitterende oppervlak gelijk aan het totale stalvloeroppervlak waarop urine en faeces terecht kunnen komen (hokbevuilding), plus het oppervlak van de mestkelder. Voor de stalvloer geldt echter dat emissie vooral optreden vanaf de plaatsen waar korter dan circa 24 uur geleden een urinelozing is terecht gekomen. In de literatuur wordt melding gemaakt van de belangrijke impact van de met urine bevulde vloer op de ammoniakemissie (Hoeksma et al., 1992; Kant en Middelkoop, 1994; Hesse, 1994, Aarnink, 1997).

Ook uit eigen onderzoek bleek er een sterke relatie te bestaan tussen de hokbevuilding en de ammoniakemissie uit een vleesvarkensstal. Om de invloed van de hokbevuilding op de ammoniakemissie te onderzoeken is het allereerst noodzakelijk een kwantitatieve maat voor de bevuilding te definiëren. Er werd gekozen voor de volgende definitie: de hokbevuilding is het percentage van de vloeroppervlakte (roosters niet inbegrepen) dat bedekt is met uitwerpselen. Deze hokbevuilding is bijgevolg een subjectieve en visuele schatting (van 0 tot 1) van het percentage van de vloeroppervlakte bevuild met uitwerpselen. Deze schatting werd wekelijks uitgevoerd door dezelfde persoon in 4 vleesvarkenscompartimenten in praktijkomstandigheden gedurende 2 jaar. Deze metingen werden uitgevoerd in een 50%-rooster-stal. Dit leverde volgende correlatie op voor een vleesvarkensstal: zie figuur 2.

Figuur 2. Ammoniakemissie (g/u) versus hokbevuiling gemeten in een vleesvarkensstal (Ni J., 1998)



2.1.4 Belangrijkste variabelen die de ammoniakemissie beïnvloeden

Uit eigen onderzoek blijkt dat de emissie uit een vleesvarkensstal in sterke mate beïnvloed wordt door het stalklimaat. Om het relatief belang en de onderlinge samenhang van de verschillende variabelen te kennen werden de correlatie-coëfficiënten (“multiple correlation”) tussen de variabelen berekend. Deze analyse, waarvan tabel 4 een overzicht geeft van de resultaten, is gebaseerd op continue meetgegevens van de periode 2/10/94 tot 15/2/95 in vier vleesvarkenscompartimenten (Ni J., 1998). Tabel 5 geeft een overzicht van de gemiddelde, minimale en maximale waarden van de klimaatsvariabelen voor deze periode.

Tabel 4. Correlatie-coëfficiënten tussen de verschillende variabelen

	NH_{3e}	V	M_{t1}	T_i	T_o	W_{tp}	N_p	W_{ap}	F_f
NH₃ emissie (NH_{3e})	1								
Ventilatiedebiet (V)	0,71	1							
Mesttemperatuur (M_{t1})	0,57	0,68	1						
Staltemperatuur (T_i)	0,58	0,62	0,71	1					
Buitentemperatuur (T_o)	0,56	0,83	0,73	0,84	1				
Tot. levend gewicht (W_{tp})	0,60	0,39	0,38	0,59	0,35	1			
Aantal dieren (N_p)	0,47	0,17	-0,04	0,39	0,09	0,78	1		
Gem. Gewicht dieren (W_{ap})	-0,28	,004	0,28	-0,20	0,08	-0,45	-0,91	1	
Hokbevuiling (F_f)	0,82	0,53	0,65	0,63	0,49	0,72	0,54	-0,30	1
Diepte mest (D_m)	-0,15	0,08	0,20	0,07	0,09	-0,20	-0,15	0,10	-0,18

Bron: Ni J., 1998

Tabel 5. Gemiddelde, minimale en maximale waarde van de klimaatsvariabelen

	Gemiddeld	Min.	Max.
NH₃ emissie (g/h)	23.7	1.7	71.2
NH₃ concentratie (ppm)	9.2	3.0	17.7
Ventilatie-debiet (m³/h)	2530	217	5312
Staltemperatuur (°C)	16.5	2.5	22.7
Buitentemperatuur (°C)	9.0	1.7	18.7
Tot. levend gewicht (kg)	2935	0	5095
Aantal dieren	52	0	70
Gewicht dieren (kg)	66	0	105
Hokbevuiling (%)	22	0	79

Uit deze analyse blijkt dat er een sterk verband bestaat tussen het ventilatie-debiet en de ammoniakemissie uit een stal. Het ventilatie-debiet heeft een impact op de ammoniakemissie via meerdere mechanismen, nl.:

- een rechtstreekse invloed op de emissie daar deze emissie het product is van de ammoniakconcentratie en het ventilatie-debiet;
- een invloed op de ammoniakconcentratie in de stal;
- een rechtstreekse invloed op de vrijzetting van de ammoniak uit de mest door een verandering van de luchtsnelheid boven de mest via het luchtpatroon;
- het ventilatie-debiet interageert met de binnentemperatuur en deze temperatuur beïnvloedt op zijn beurt de mesttemperatuur.

Een positief verband tussen de luchtsnelheid en de ammoniakemissie werd beschreven door Cumby et al. (1995) en Hartung et al. (1994). De luchtsnelheid boven de emitterende oppervlakte is vooral functie van het ventilatie-debiet, van de temperatuur in de stal en de mesttemperatuur. Hoeksma et al. (1992) vond een positief verband tussen het ventilatie-debiet en de ammoniakemissie.

Een hogere binnentemperatuur, mesttemperatuur en hokbezetting (totaal levend gewicht per oppervlakte) verhogen eveneens de emissie uit een vleesvarkensstal. Al deze parameters zijn echter sterk onderling gecorreleerd. Het is bijgevolg moeilijk te concluderen welke van deze variabelen de grootste impact heeft op de ammoniakemissie.

Tot besluit kan men stellen dat de ammoniakemissie beïnvloed wordt door het binnenklimaat in een stal, de mestsamenstelling en dieren. Deze verschillende variabelen zijn het resultaat

van een complex proces met vele onderlinge correlaties. De ammoniakemissie is bijgevolg sterk plaats- en tijdsafhankelijk.

2.2 Emissiefactoren

2.2.1 Absolute emissiefactoren

Op basis van emissiefactoren berekende Buijsman et al. (1987) de ammoniakemissie van de verschillende landen in Europa. Buijsman et al. gebruikt in zijn berekeningsmethodiek drie emissiestadia van ammoniak nl. stal met opslag, weide en toediening. Hij maakt bij de berekening gebruik van *absolute emissiefactoren* die vermenigvuldigd worden met het aantal dieren per land. Een absolute emissiefactor is een schatting van de ammoniakemissie per diersoort en per emissiestadium (stal, weide, opslag en uitrijden van de mest) uitgedrukt in kg NH₃ per plaats en per jaar. De volgende emissiefactoren werden gebruikt: zie tabel 6.

Tabel 6. Emissiefactoren (in kg NH₃/jaar.plaats)

Diersoort	Stal/opslag	Toediening	Weide
Rundvee	4.9	6.3	7.2
Varken	1.5	1.3	/
Schaap	/	/	3.1
Paard	3.8	3.0	2.6
Pluimvee	0.11	0.15	/

Bron: Buijsman et al. 1987

Deze emissiefactoren zijn door gebrek aan metingen een ruwe benadering. Heel wat van de onderzoeksactiviteiten in Nederland hadden tot doel deze emissiefactoren nauwkeuriger te bepalen. In de Richtlijn Ammoniak en Veehouderij (1991) werden volgende emissiefactoren voor stallen aanvaard: zie tabel 7. In het kader van het EU-programma 'CORINAIR' worden volgende emissiefactoren vooropgesteld: zie tabel 8.

Tabel 7. Emissiefactoren (in kg NH₃/jaar.plaats)

Diersoort	Stal
Melk- en kalfkoeien	8.8
Vrouwelijk jongvee tot ca. 2 jaar	3.9
Vleeskalveren	1.5
Vleesstieren	5.7
Opfokzeugen	2.1
Kraamzeugen	8.3
Vleesvarkens	2.5
Slachtkuikens	0.05
Leghennen droge/natte mest	0.386/0.083
Pluimvee	0.11

Bron: Richtlijn Ammoniak en Veehouderij (1991)

Tabel 8. Emissiefactoren (in kg NH₃/jaar.plaats)

Diersoort	Stal	Opslag	Toediening	Weide
Melkkoe	8.7	3.8	12.1	3.9
Ander rundvee	4.4	1.9	6.0	2.0
Mestvarken	2.89	0.85	2.65	/
Zeug	7.43	2.18	6.82	/
Leghen	0.19	0.03	0.15	/
Slachtkuiken	0.15	0.02	0.11	/

Bron: CORINAIR 1990 (methode gebaseerd op absolute emissiefactoren)

2.2.2 Relatieve emissiefactoren

Rekenen met *relatieve coëfficiënten* heeft het voordeel dat, in tegenstelling tot absolute coëfficiënten, er rekening gehouden wordt met de ammoniakemissie in een vorig stadium (Pollet, 1996). Een relatieve emissiefactor is immers een schatting van de emissie uitgedrukt in het percentage van de aanwezige N in de mest dat geëmitteerd wordt.

In de studie van Pollet (1996) werden relatieve emissiefactoren toegepast. Ook in het CORINAIR-programma is de nauwkeurige emissieberekening gebaseerd op relatieve emissiefactoren. De emissiefactoren voor melkkoeien in tabel 6 zijn gebaseerd op de relatieve emissiefactoren in tabel 9. Omdat de berekening van Pollet de meest recente methodiek is die in Vlaanderen ontwikkeld werd en voldoende wetenschappelijk onderbouwd is, lijkt deze voorlopig het beste rekenmodel voor de emissie op Vlaams niveau te schatten.

Tabel 9. Relatieve emissiefactoren ,

	% emissie	kg N	kg NH ₃
N-uitstoot stal		60	
- Emissie uit stal	12	- 7.2	8.7
N-inhoud opslag		= 52.8	
- Emissie van opslag	6	- 3.17	3.8
N-inhoud bij uitrijden		= 49.63	
- Emissie bij uitrijden	40	- 9.93	12.1
N-uitstoot in weide		= 40	
- Emissie in weide	8	- 3.2	3.9

Bron: CORINAIR 1990 (methode gebaseerd op relatieve emissiefactoren)

Onderstaande tabel 10 geeft ter illustratie een overzicht van de emissiefactoren voor vleesvarkens vermeld in literatuur. Hieruit blijkt dat de vermelde emissiefactoren sterk kunnen uiteénlopen. Gemiddeld bedraagt volgens dit overzicht de ammoniakemissie uit een vleesvarkensstal 2850 g NH₃/plaats.jaar. De standaarddeviatie van deze gegevens bedraagt echter 1160 g NH₃/plaats.jaar, of meer dan 40% van het gemiddelde. De vergelijking van de verschillende resultaten wordt echter wel bemoeilijkt doordat de emissies uitgedrukt kunnen worden in verschillende eenheden. De vetgedrukte cijfers in tabel 10 worden vermeld in het gerefereerde artikel. De andere cijfers zijn op basis van de vermelde cijfers herrekend (zie nota bij herrekening, onderaan de tabel). Verder kunnen de omstandigheden bij het bepalen van de emissiefactoren (huisvesting, meetmethode, enz.) zodanig verschillen dat een vergelijking moeilijk is.

Tabel 10. Emissiefactoren voor vleesvarkens

Ref.	Huisvesting	Emissie (mg NH ₃ /u . 500kg levend gewicht)	Emissie (kg NH ₃ /jaar . 500 kg levend gewicht)	Emissie (g NH ₃ /jaar . dierplaats)	Emissie (mg NH ₃ /u . dier)
Janssen, 1985		2365	20.7	2385	302.5
Buijsman et al., 1985		2000	17.5	2015	255.7
Anon, 1989		2170	19	2190	277.6
Möller and Schieferdecker, 1989		4500	39.4	4540	575.7
Asman and van Jaarsveld, 1990		3425	30	3455	438.3
Van der Eerden et al., 1981	Volrooster	1370	12	1380	175.3
	Deelrooster	2475	21.7	2500	317.1
Kowalewsky, 1981	Drijfmest	855	7.5	865	109.6
Hartung, 1992		2000-4500	17.52-39.42	2020-4540	256-576

Ref.	Huisvesting	Emissie (mg NH ₃ /u . 500kg levend gewicht)	Emissie (kg NH ₃ /jaar . 500 kg levend gewicht)	Emissie (g NH ₃ /jaar . dierplaats)	Emissie (mg NH ₃ /u . dier)
Oldenburg, 1989	Deelrooster	1350	11.82	1360	172.8
	Volrooster	2380	20.85	2400	304.6
Legislation, The Netherlands	Deelrooster	2475	21.69	2500	317
	Volrooster	2975	26.07	3000	381
Aarnink et al., 1995	Experimentele omstandigheden	1890	16.56	1910	242
Groot Koerkamp et al., 1998	Rooster, Engeland	2592 (39%)	12.66	1460	185 (42%)
	Rooster, Nederland	2076 (23%)	26.35	3035	385 (23%)
	Rooster, Denemarken	2568 (18%)	21.83	2515	319 (23%)
	Rooster, Duitsland	2398 (21%)	21.08	2430	308 (22%)
Van Ouwerkerk, 1993	Volrooster	2975	26.07	3000	381
Mannebeck en Oldenburg, 1991	Volrooster	6720	58.86	6800	860
	Deelrooster	3870	33.88	3900	495
Oosthoek et al., 1991		2975	26.07	3000	381
Hoeksma et al., 1993	Volrooster	3240-3905	28.4-34.22	3270-3940	415-500
	Deelrooster	2580-2930	22.58-25.66	2600-2955	330-375
Groenestein, 1994		2970	26.01	2995	380
Hesse, 1994	Volrooster	2765	24.23	2790	354
	Deelrooster	3640	31.89	3675	466
Ni J., 1999	Deelrooster	4000	31.9	4035	512
Gemiddeld		2831	24.72	2848	361
St.Dev.		1126	10.04	1159	147
St.Dev. (%)		40	41	41	41

Nota bij herrekening:

- Gemiddeld gewicht van vleesvarkens = 64 kg gebaseerd op 3.3 mestronden (35-105 kg) per jaar
- bezettingsgraad = 90%

In een recent Europees project werd de ammoniakemissie gemeten in een viertal gelijkaardige praktijkstallen per diersoort in vier verschillende landen (Groot Koerkamp et al., 1998). De meetperiodes werden echter wel beperkt tot 24 uur in een zomerperiode en 24 uur in een winterperiode. Om op basis van deze gegevens een goede schatting te maken van de ammoniakemissie op jaarbasis werd gebruik gemaakt van een statistisch model (Groot Koerkamp et al., 1998).

Tabel 11 geeft een overzicht van de resultaten van deze meetcampagne. Een vergelijking van de meetresultaten van de verschillende landen laat besluiten dat enkel de cijfers voor vleesvarkens, in vergelijking met de andere diersoorten, een niet al te grote variatie vertonen. De variatie op de resultaten binnen een land varieert van 17% tot 49% van de gemiddelde

waarde. In een Nederlandse studie (Leneman et al., 1998) rond de sensitiviteit van de ammoniakemissie-modellen wordt gerekend met volgende onzekerheidsinterval voor de verschillende emissiefactoren: zie tabel 12. Hoe deze onzekerheidsintervallen bepaald werden is niet beschreven. Maar dit toont dat men rekening houdt met een vrij grote onzekerheid en onnauwkeurigheid.

Men moet dus besluiten dat er voor de meeste diersoorten emissiefactoren beschikbaar zijn, maar dat de onzekerheid en de onnauwkeurigheid van deze factoren erg groot is. Mogelijke verklaringen voor deze onzekerheid en onnauwkeurigheid zijn:

- de emissiefactoren worden bepaald in praktijkonderzoekopstellingen. De omstandigheden zijn niet altijd representatief voor werkelijke praktijkomstandigheden. In praktijkomstandigheden moet men rekening houden met een minder goed management, meer tijdsdruk bij het uitvoeren van handelingen, minder know-how aanwezig, etc.;
- de emissiefactoren worden bepaald of afgeleid uit metingen uitgevoerd gedurende een korte meetperiode waardoor de randvoorwaarden (buitenklimaat, binnenklimaat, toevallige managementfactoren, etc.) niet altijd representatief zijn voor het ganse jaar;
- de nauwkeurigheid van bepaalde meettechnieken is onvoldoende. Bijvoorbeeld het meten van het ventilatiedebiet is nog steeds moeilijk en zeer onnauwkeurig in natuurlijk verluchte stallen.

Hieruit kan men besluiten dat de onnauwkeurigheid van de emissiefactoren enkel verkleind kan worden door continue metingen op een grotere schaal. Goedkopere meettechnieken kunnen dit mogelijk maken.

Tabel 11. Gemiddeld gemeten emissie en variatie tussen stallen

	n	Engeland		Nederland		Denemarken		Duitsland	
		Gem.	c.v. %	Gem.	c.v. %	Gem.	c.v. %	Gem.	c.v. %
Melkkoe	4	1048	49	1769	23	843	20	1168	30
Vleesvee	4	/	/	853	23	900	17	371	30
Zeugen	4	1049	38	1282	24	1701	17	1212	24
Mestvarken	4	2592	39	2076	23	2568	18	2398	21
Legkip	4	9316	38	1624	26	2160	34	602	28
Braadkuiken	4	8294	41	4179	24	2208	33	7499	24

n: aantal herhalingen (gemeten stallen); **Gem.**: gemiddelde emissie in mg/u per 500 kg levend gewicht; **c.v. %**: standaard afwijking tussen de stallen in % van de gemiddelde emissie

Bron. Groot Koerkamp et al., 1998

Tabel 12. Relatieve emissiefactoren en de onzekerheidsintervallen

	Relatieve emissiefactor (%)	Onzekerheidsinterval (% van rel. emissiefactor)
Stal		
Melkkoe	14.6	75-125
Mestvarken	18	75-125
Mestoplag		
Melkkoe	0.9	50-250
Mestvarken	1.7	50-250
Uitrijden (injectie)		
Grasland	5	75-200
Cultuurgrond	2.7	67-200

Bron. Leneman et al., 1998

3 Relatie NH₃ - geur op landbouwbedrijven

Door O'Neill & Phillips (1992) werden 168 componenten geïnventariseerd die mogelijk bijdragen tot de geurhinder op landbouwbedrijven. Ammoniak is er één van en ontstaat hoofdzakelijk uit de hydrolyse van ureum in urine. De overige vluchtige geurcomponenten zijn afkomstig van de afbraak van organisch materiaal in de faeces (hoofdzakelijk eiwitten).

Een éénduidige relatie tussen NH₃- en geuremissies op landbouwbedrijven is tot op heden nog niet gevonden. In een beperkt aantal onderzoeken onder zeer specifieke omstandigheden werden wel significante correlaties gevonden tussen NH₃- en geuremissies. Deze correlaties verschillen sterk, afhankelijk van de situatie (en diersoort) waarbij ze gevonden werden (zie tabel 13).

Uit tabel 13 blijkt dat de correlaties die gevonden worden tussen NH₃- en geuremissies steeds betrekking hebben op zeer specifieke omstandigheden. Uit het onderzoek van Verdoes & Ogink (1997) blijkt zelfs dat bij vleesvarkens in een Groen Labelstal er bij toenemende NH₃-emissie, een afnemende geuremissie optreedt.

Vaak wordt aangenomen dat technieken die de NH₃-emissies reduceren, ook een positieve invloed hebben op de vermindering van de emissies van vluchtige geurcomponenten. Zo kan gesteld worden dat stallen met lage NH₃-emissies door gebruik van een goede en frequente mestverwijdering, minder zullen ruiken (Verdoes & Ogink, 1997).

In een onderzoek van Pain & Misselbrook (1991) kon echter geen relatie gevonden worden tussen geur- en ammoniakemissies na uitspreiding van behandelde mest, waar dit voor onbehandelde mest wel het geval was. In het onderzoek van Pain & Misselbrook (1991) werden drie behandelingen toegepast, namelijk beluchting van de mest, een anaërobe behandeling en aanzuring van de mest. Beluchting leidde tot een reductie van de geuremissies, maar met een toename van de NH₃-emissie. De anaërobe behandeling resulteerde in een vermindering van de geuremissie zonder een significant effect te hebben op de NH₃-emissie. Aanzuring reduceerde de NH₃-emissie en leidde tot een stijging van de geurconcentraties. (Zie ook tabel 14)

Tabel 13. Overzicht van de gevonden correlaties tussen NH₃- en geurconcentraties/emissies.

Verdoes & Ogink (1997)	
Omschrijving meting	Relatie
Concentratie in Groen Labelstal met DRACHTIGE ZEUGEN	$ou_E/m^3 = 374.395 + 88.1602 \text{ mg NH}_3/m^3$ met $r^2=0.303$, $F=0.099$
Concentratie in Groen Labelstal met VLEESVARKENS die multifase voederdieet toegediend kregen	$ou_E/m^3 = 2102.06 - 257.153 \text{ mg NH}_3/m^3$ met $r^2=0.441$, $F=0.051$
Opm.: - De correlaties die gevonden worden zijn zeer beperkt, lage r^2 (resp. 0.3 en 0.4) - Uit deze vergelijkingen blijkt dat de relatie tussen de geurconcentratie en NH₃-concentratie een tegengesteld verloop toont bij drachtige zeugen t.o.v. vleesvarkens. Bij de drachtige zeugen wordt bij toename van de NH₃-concentratie ook een toename van de geurconcentratie vastgesteld. Bij de vleesvarkens daarentegen, zou er een afname van de geurconcentratie zijn bij toenemende NH₃-concentratie. 1 ou_E (Europese geureenheid) = 2 ge	
Pain & Misselbrook (1991)	
Omschrijving meting	Relatie
Emissie TIJDENS het UITRIJDEN van onbehandelde varkensmest	$Y = 308.2 X$ met $X = \text{geuremissie [ge/s]}$ en $Y = \text{NH}_3\text{-emissie [mg NH}_3\text{-N/s]}$ en $r = 0.8541$
Emissie NA het UITRIJDEN van onbehandelde varkensmest	$Y = 806 X$ met $X = \text{geuremissie [ge/m}^2\text{/u]}$ en $Y = \text{NH}_3\text{-emissie [mg NH}_3\text{-N/m}^2\text{/u]}$ en $r = 0.917$ <u>Opm:</u> deze regressievergelijking is een combinatie van een aantal experimenten (o.a. gebruik van verschillende windtunnels voor de meting van de geuremissies). De correlatiecoëfficiënten van de vergelijkingen van de afzonderlijke experimenten lagen tussen 0.851 en 0.989. De hellingen van de regressielijnen waren significant verschillend voor de verschillende experimenten. Dit wijst op een relatie tussen de NH ₃ - en geuremissies, die voor elk experiment verschillend was.

Tabel 14. Geur- en NH_3 -emissies gemeten na uitspreiding op land van behandelde varkensmest (Pain & Misselbrook, 1991)

Behandeling	Totale emissie/ m^2 gedurende experiment			
	Onbehandelde mest		Behandelde mest	
	10^3 ge	mg $\text{NH}_3\text{-N}$	10^3 ge	mg $\text{NH}_3\text{-N}$
Beluchting - meting 1	4479	1687	1330	2981
Beluchting - meting 2	3341	2197	1673	3330
Anaërobe afbraak - meting 1	1397	1184	363	927
Anaërobe afbraak - meting 2	3972	2154	654	2404
Anaërobe afbraak - meting 3	649	1463	164	1713
Anaërobe afbraak - meting 4	606	3396	183	1745
		pH	10^3 ge	mg $\text{NH}_3\text{-N}$
Aanzuren		7.4	998	1379
		6.1	1325	187
		5.1	1080	47
		3.6	1704	0

Uit tabel 14 blijkt dat behandeling van de mest om geuremissies te reduceren bij het uitspreiden, niet noodzakelijk voor een reductie van de NH_3 -emissie zorgt, en vice versa.

Conclusie :

Op basis van de bestaande literatuur is het niet mogelijk een éénduidige en algemeen geldende relatie tussen geur- en ammoniakemissies bij veestallen en mest op te stellen.

4 Reductietechnieken voor de geuremissie

4.1 Beperking van geuremissies in de stal

4.1.1 Aanpassen huisvestingssysteem

Propere stallen zullen steeds bijdragen tot de beperking van geuremissies. Alle oppervlakken waarop zich mest kan bevinden en waarop dieren worden gehouden, dienen zo proper en droog mogelijk te zijn. Vuile, met mest bedekte dieren zorgen voor een versnelling van de bacteriële groei en voor de productie van gassen, die snel evaporeren onder invloed van de lichaamswarmte van het dier. (Odor Control Task Force, 1998)

Verscheidene gebouwaanpassingen die voor een verlaging van de emissies kunnen zorgen zijn mogelijk. Het gebruik van geschikte vloeren en van een snelle mestverwijdering uit de mestkelder onder de stalvloer zijn technieken die voor een beperking van de geuremissies kunnen zorgen. Vloeren dienen zo geconstrueerd te worden dat deze de properheid van de stallen ten goede komt en voor een snelle afvoer van de faeces en urine zorgt. Deze technieken zijn al regelmatig onderzocht, maar dit steeds in het kader van de beperking van ammoniakemissies, waar ze ook effectief blijken te zijn. Aangenomen wordt dat deze technieken ook een positieve invloed hebben op de reductie van geuremissies, doch het aantal onderzoeken met effectieve meetresultaten van geurconcentraties- en emissies is zeer beperkt. O'Neill & Phillips (1991) gaan er echter wel van uit dat alle gebouwaanpassingen bedoeld om de ammoniakemissies te reduceren, ook gelijktijdig voor een reductie van de geuremissies zullen zorgen, en vice versa.

In wat volgt zal er eerst een overzicht gegeven worden van de onderzoeken naar geuremissies die in dit kader reeds uitgevoerd werden. Daarna zullen per diersoort de gebouwaanpassingen, die mogelijk bijdragen tot een geurreductie, overlopen worden.

In een laatste paragraaf zal het diepstrooiselsysteem voor varkens afzonderlijk worden besproken aangezien, bij goed functioneren, dit staltype zeer gunstig zou zijn m.b.t. de beperking van geurhinder. Er zijn geen metingen die dit bevestigen, maar subjectieve waarnemingen wijzen wel in die richting.

4.1.1.1 Uitgevoerde onderzoeken naar geurreductie door gebouwaanpassingen op landbouwbedrijven

Onderzoek van het Proefstation voor de Varkenshouderij (Nederland) naar geuremissies van Groen Labelstallen en vergelijking met traditionele huisvestingssystemen :

In Nederland werd door het Proefstation voor de Varkenshouderij een onderzoek uitgevoerd naar de geurreductie van Groen Labelstallen ten opzichte van traditionele huisvestingssystemen. De resultaten hiervan worden weergegeven in tabel 15.

Tabel 15. Resultaten van het onderzoek uitgevoerd door het Proefstation voor de Varkenshouderij naar geuremissies van Groen Labelstallen (Verdoes & Ogink, 1997).

Diersoort	Periode (¹)	Temp [°C]	Ventilatie- debiet [m ³ .u ⁻¹ .dier ⁻¹]	Geurconc. (⁴) [ou _E /m ³]	Geuremissie (⁴) [ou _E .s ⁻¹ .dier ⁻¹]
Guste/Dragende zeugen	1	25.16	103.2	434	12.18
	2	23.30	58.8	619	9.76
	1+2				10.92
Kraamzeugen	1	26.69	184.4	836	39.56
	2	25.78	130.1	876	31.44
	1+2				35.27
Gespeende biggen	1	27.28	10.3	2856	7.70
	2	26.64	8.1	1557	3.18
	1+2				4.95
Vleesvarkens (ZC) ⁽²⁾	1	22.90	69.3	892	16.62
	2	21.75	44.8	1019	12.15
	1+2				14.21
Vleesvarkens (MF) ⁽³⁾	1	23.47	56.7	1245	18.57
	2	20.22	27.5	854	5.50
	1+2				10.10

(1) : periode 1 = zomerperiode, de geurconcentratie is het gemiddelde van 5 monsternames in duplicaat verspreid over de periode

periode 2 = winterperiode, de geurconcentratie is het gemiddelde van 5 monsternames in duplicaat verspreid over de periode

(2) : dieet zonder CaCO₃, bestaande o.a. uit een aantal organische zuren

(3) : dieet waarbij multifase voeding werd toegepast

(4) : 1 ou_E (Europese geureenheid) = 2 ge

Verregaande standardisatie in de olfactometrie (NNI, 1995 & CEN, 2000) resulteerde in een verschuiving van de geureenheid. Door zorgvuldige panelectie en verbeterde evaluatie- en berekeningsmethodes, nam de nauwkeurigheid van de meting van de geurconcentratie sterk

toe. Tot op heden wordt er in de Nederlandse wetgeving (VROM, 1996) gerefereerd naar mestvarkenseenheden. Een mestvarkenseenheid is de geuremissie van één mestvarken (vleesvarken) gehuisvest op een roostervloer. Deze mestvarkenseenheden, bepaald begin jaren tachtig en vóór de standardisatie in de olfactometrie, kunnen niet vergeleken worden met de resultaten die nu bekomen worden via olfactometrische metingen. Het was dus nodig om ook in traditionele huisvestingssystemen nieuwe metingen voor de verschillende diersoorten uit te voeren, zodanig dat deze vergeleken kunnen worden met de emissies uit Groen Labelstallen. (Ogink & Klarenbeek, 1997)

Momenteel is enkel nog maar de geuremissie voor vleesvarkens bekend, namelijk $22.6 \text{ ou}_E \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{dier}^{-1}$ bij een ventilatiedebiet van $33.3 \text{ m}^3 \cdot \text{u}^{-1} \cdot \text{dier}^{-1}$ (zie ook tabel 16). Vergelijkingen van Groen Labelstallen met traditionele huisvestingssystemen zijn dan ook enkel nog maar mogelijk voor vleesvarkens. Beschrijving van de huisvestingstypen waar de onderzoeken werden gehouden, worden weergegeven in tabel 17.

Tabel 16. Vergelijking van geuremissies van Groen Labelstallen ten opzichte van traditionele huisvestingssystemen (Resultaten uit : Verdoes & Ogink, 1997)

	Geuremissie [$\text{ou}_E \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{dier}^{-1}$]	Ventilatiedebiet [$\text{m}^3 \cdot \text{u}^{-1} \cdot \text{dier}^{-1}$]
Vleesvarkens in GL (ZC) ⁽¹⁾	14.21	57.1
Vleesvarkens in GL (MF) ⁽²⁾	10.10	42.1
Vleesvarkens in TH ⁽³⁾	22.6	33.3
Reductie geuremissies van Groen Labelstal t.o.v. traditionele stal		
	Geuremissiereductie [%] op basis van werkelijke ventilatiedebieten	Geuremissiereductie [%] op basis van geüniformeerde ventilatiedebieten ($33.3 \text{ m}^3 \cdot \text{u}^{-1} \cdot \text{dier}^{-1}$)
GL(CZ) / TH	37	64
GL(MF) / TH	55	65

(1) Groen Labelstal waarbij de vleesvarkens een dieet kregen zonder CaCO_3 , bestaande o.a. uit een aantal organische zuren

(2) Groen Labelstal voor vleesvarkens waarbij multifase voeding werd toegepast

(3) Vleesvarkens gehuisvest in een traditionele stal

Tabel 17. Beschrijving van huisvestingssystemen gebruikt bij het onderzoek naar reductie van geuremissies in Groen Labelstallen t.o.v. traditionele stallen.

Traditionele stal	(Ogink & Klarenbeek, 1997)
Diersoort	Beschrijving huisvesting
Vleesvarkens	Mechanisch geventileerde compartimenten, hokken gedeeltelijk uitgevoerd met roosters, mestopslag onder stalvloer
Groen Labelstal	(Verdoes & Ogink, 1997)
Diersoort	Beschrijving huisvesting
Guste/Dragende zeugen	36 hokken in 1 compartiment. Vergeleken met standaard hokken, is het vaste gedeelte langer (1.40 - 1.50 m), de mestput is smaller (0.60 m), bedekt met een rooster en een mestgleuf van 0.12 m. De mest in het smalle mestkanaal wordt verwijderd via een rioleringssysteem
Kraamzeugen	Volroosterhok met plastic of metalen roosters. Mestput opgedeeld in twee delen. Voorste gedeelte waarin na het schoonmaken een waterlaag van 5 cm blijft staan. Deze waterlaag wordt, a.h.v. een klep in de muur, verwijderd na elke kraamperiode. Het achterste gedeelte wordt gebruikt als mestput, waarbij de mest verwijderd wordt a.h.v. een rioleringssysteem.
Gespeende biggen	Hokken gedeeltelijk uitgevoerd met stalen roosters en een bolle vloer. Afmetingen bekeken vanuit de voederdoorgang : 0.30 m roosters, 1.50 m bolle vloer (zonder mestopslag eronder), 1.15 m roosters en achteraan een mestgleuf van 0.05 m. In het smalle mestkanaal (naast de doorgang) blijft water staan na schoonmaak. In het andere deel van de mestput wordt de mest verwijderd met een rioleringssysteem.
Vleesvarkens (ZC) ⁽¹⁾	Analoog als bij de gespeende biggen, maar met volgende afmetingen : 0.50 m roosters, 1.65 m bolle vloer, 1.75 m roosters en een mestgleuf van 0.08 m. Het brede mestkanaal heeft een diepte van 0.60 m, waaruit de mest a.h.v. een rioleringssysteem wordt verwijderd.
Vleesvarkens (MF) ⁽²⁾	Analoog als bij de gespeende biggen, maar met volgende afmetingen : 0.65 m roosters, 1.30 m bolle vloer, 1.30 m roosters en een mestgleuf van 0.08 m. het brede mestkanaal heeft een diepte van 0.40 m, waaruit de mest a.h.v. een rioleringssysteem wordt verwijderd.

(1) : Compartimenten voor vleesvarkens die een dieet toegediend kregen zonder CaCO₃, bestaande o.a. uit een aantal organische zuren

(2) : Compartimenten voor vleesvarkens waarbij multifase voeding werd toegepast.

Uit tabel 16 blijkt dat de geuremissiereductie van Groen Labelstallen 37 % en 55 % bedraagt, afhankelijk van het toegediende voeder aan de dieren, ten opzichte van vleesvarkens in een traditioneel huisvestingssysteem. Als de geuremissie berekend wordt bij een gelijk ventilatiedebiet (33.3 m³.u⁻¹.dier⁻¹), wordt een geuremissiereductie van 65 % gevonden.

De resultaten uit voorgaande onderzoek (Verdoes & Ogink, 1997) geven een eerste indicatie dat Groen Labelstallen, zoals werd aangenomen, ook minder geur emitteren dan traditionele staltypes. De huidige resultaten geven enkel nog maar een beeld van de geurreductie van vleesvarkensstallen. Er dient ook opgemerkt te worden dat de resultaten van dit onderzoek afkomstig zijn van metingen op slechts één bedrijf dat bovendien een proefbedrijf is. Metingen op verscheidene bedrijven en op praktijkbedrijven leveren mogelijk andere resultaten op.

Door het groot aantal factoren (voeding, ventilatiedebiet, temperatuur, hokbevuiling, enz...) die een invloed hebben op de geuremissie, zal het zeer moeilijk zijn om de afzonderlijke bijdragen van de verschillende stalonderdelen (bv. vloertype, uitvoering mestput en mestverwijderingssysteem) te evalueren.

Onderzoek naar geurconcentraties in stallen met verschillende mestopslagsystemen :

Van Geelen & van der Hoek (1982) publiceerden een onderzoek met geurconcentraties in stallen met verschillende mestopslag/verwijderingssystemen. De resultaten van dit onderzoek worden weergegeven in tabel 18.

Tabel 18. Geurconcentraties gemeten in stallen met verschillende mestopslag/verwijderingssystemen (uit : Van Geelen & van der Hoek, 1982).

	Varkensstal				Kippenstal (legbatterij)			
	Mengmest-opslag		Droge-mestopslag		Mengmestopslag		Mestband-systeem	
	Gem	Spreiding	Gem	Spreiding	Gem	Spreiding	Gem	Spreiding
Geurconc. [ge/m ³]	97	20 - 280	39	11 - 76	258	94 - 412	59	11 - 169

Uit tabel 18 kan er afgeleid worden dat opslag van mengmest in de stal beter vermeden wordt. Voor varkensstallen lijkt de verwijdering van de vloeibare fractie al tot een geurreductie te leiden. Bij de legbatterij blijkt dat een frequente of continue mestverwijdering via een mestband onder de kooien voor een geurreductie zorgt.

In deze studie werden geen details gegeven over het ontwerp van de mestopslag/verwijderingssystemen. De plaats van de monsternamen en de ventilatiedebieten

werden hier ook niet bij vermeld. Bepaling van de geurconcentraties gebeurde olfactometrisch, maar dit wel in de periode voor de huidige standardisatie in de olfactometrie. Vergelijking van de resultaten met andere onderzoeken dient dus met de nodige voorzichtigheid uitgevoerd te worden.

Onderzoek naar geurconcentraties in varkensstallen met verschillende vloertypes :

Klarenbeek et al. (1982) onderzochten geuremissies in stallen met verschillende vloertypes. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in tabel 19. Het 'Deens' vloertype bestaat uit een ligplaats met aangrenzend een open mestkanaal.

Tabel 19. Geuremissies in varkensstallen met verschillende vloertypes (Jaargemiddelden)

Vloertype	Aandeel roosteroppervlak van vloer [%]	Geuremissie [ge/u/kg-diergewicht]
Deens	58	16
Half-rooster	72	103
Vol-rooster	100	142

Ten aanzien van de beperking van de emissie vanuit de mestkelder is het gunstig een zo klein mogelijk roosteroppervlak te kiezen; hoe kleiner het (open) mestoppervlak, hoe geringer de emissie. Klarenbeek et al. (1982) concluderen uit hun resultaten dat de geuremissies voor verschillende vloertypes ruw gezien zich verhouden tot de blootgestelde mestoppervlakte voor de verschillende vloertypes. Een beperking van het blootgestelde mestoppervlak zou dan ook een reductie van de geuremissies uit het gebouw tot gevolg hebben.

De kans op hokbevuiling wordt echter groter naarmate de verhouding oppervlak rooster / oppervlak dichte vloer kleiner wordt. Het is belangrijk deze verhouding zorgvuldig te kiezen. Volgens Hoeksma et al. (1993) is de hokbevuiling het laagst bij een volroosterstal. Volgens Aarnink (1997) kan in een hok met slechts 25 % roostervloer de hokbevuiling binnen de perken gehouden worden indien het hok goed ontworpen is en indien de inkomende lucht gekoeld wordt tijdens de zomer. Het mestgedrag van de dieren wordt namelijk ook beïnvloed door de staltemperatuur en de plaats van de luchtinlaat (den Hartog & Voermans, 1994).

Onderzoek naar geuremissies op vleeskuikenbedrijven :

Clarkson & Misselbrook (1991) onderzochten geuremissies op vleeskuikenbedrijven. In dit onderzoek werden drie zaken bekeken : 1) de invloed van het drinkstelsel op de geuremissie, 2) evolutie van de geuremissie gedurende de opgroei van de vleeskuikens en 3) de invloed van een verhoogde stalventilatie.

1) Invloed van het drinkstelsel op geurconcentraties in een vleeskuikenstal :

Uit tabel 20 blijkt dat de geurconcentratie in de ventilatielucht van de stal met drinknippels lager was dan in de stal met de conventionele ronddrinkers. Clarkson & Misselbrook (1991) verklaren dit door het feit dat er met de drinknippels minder water gemorst wordt en zo de strooiselcondities verbeterd worden.

Tabel 20. Geurconcentraties in de ventilatielucht van vleeskuikensstallen met verschillende types van drinkbekers (Clarkson & Misselbrook, 1991)

	Geurconcentratie [ge/m^3] (Spreiding)	
	drinknippels	ronddrinkers
Meting 1	500 - 600	1300 - 2400
Meting 2	250 - 400	750 - 1500

Visuele inspectie door de onderzoekers bevestigde de productie van droger strooisel in de stal met drinknippels, alhoewel er geen gegevens waren over het vochtgehalte van het strooisel. Gezien het beperkt aantal metingen zou het voorbarig zijn deze geurreductie enkel toe te schrijven aan het drinkbekertype. Toch lijkt het waarschijnlijk dat het drinkbekertype (en vochtgehalte van het strooisel) hierbij een belangrijke rol speelt.

2) Evolutie van geuremissie gedurende de opgroei van vleeskuikens

Uit figuur 3 blijkt dat er na 30 dagen een sterke stijging is van de geuremissie in de stal met een 'normaal' ventilatiedebiet. Hoe hoog dit ventilatiedebiet is wordt niet vermeld door Clarkson & Misselbrook (1991). Volgens Clarkson & Misselbrook (1991) is dit verloop (figuur 3) typisch voor de evolutie van geuremissies in (Engelse) vleeskuikensstallen. In figuur 4 ziet men dat het vochtgehalte in het strooisel gedurende de opgroei van de

vleeskuikens in de ‘normale’ stal continu stijgt, met een maximum dat 50 % vochtgehalte overschrijdt. Ook dit wordt door Clarkson & Misselbrook (1991) omschreven als typisch voor (Engelse) vleeskuikensstallen.

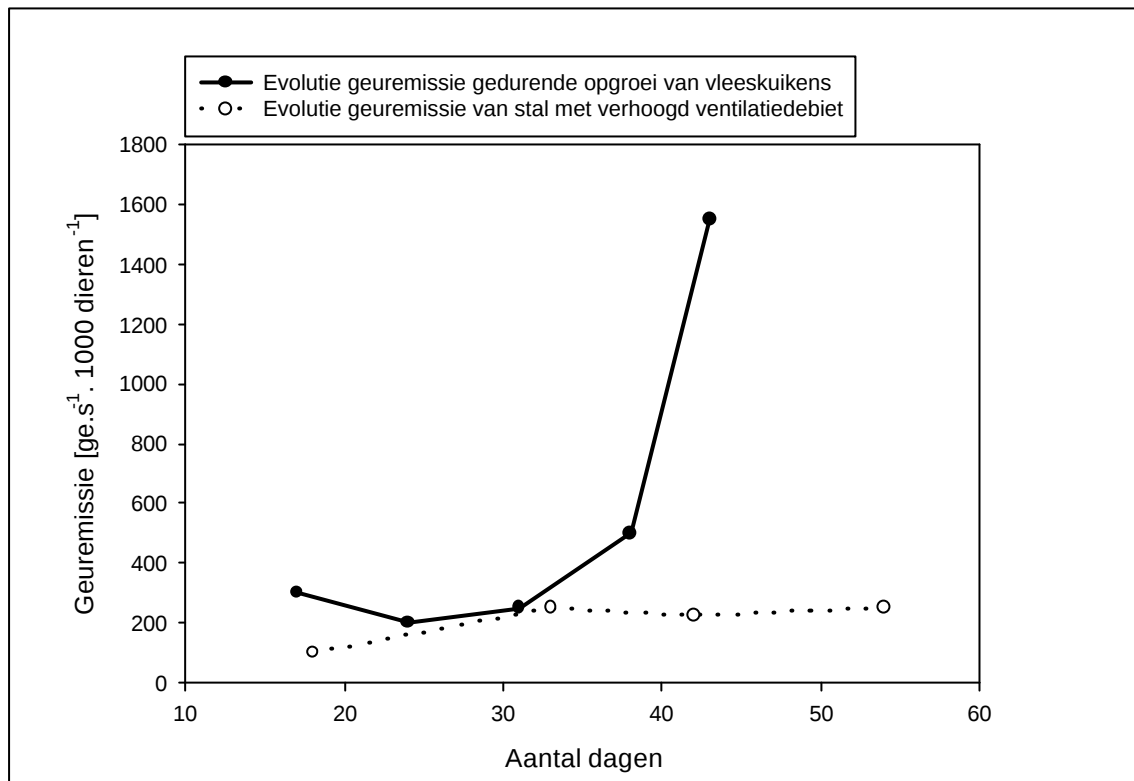
3) Invloed van een verhoogde stalventilatie

In de stal met het verhoogde ventilatiedebiet bleek dat de geuremissie gedurende de opgroei van de vleeskuikens redelijk constant blijft (figuur 3). Verhoging van het ventilatiedebiet werd mogelijk gemaakt door de stallen extra te verwarmen. Ook het vochtgehalte verloopt in de stal met verhoogd ventilatiedebiet anders dan in de ‘normale’ stal en overschrijdt de 30 % niet (figuur 4).

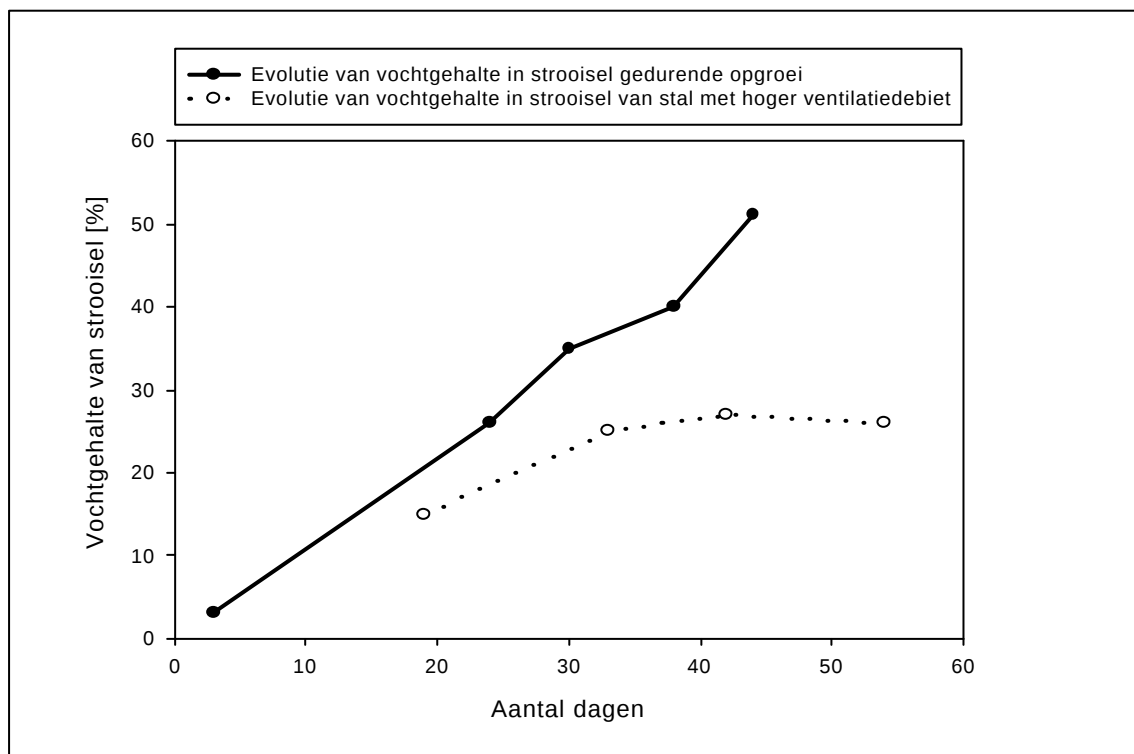
De kans is groot dat de extra warmtetoevoer in de stal en het verhoogde ventilatiedebiet direct verband houden met het lagere vochtgehalte van het strooisel, de lagere geurconcentraties in de ventilatielucht en met lagere geuremissies (Clarkson & Misselbrook, 1991).

Nieuwe verwarmingssystemen die een verhoging van het ventilatiedebiet toelaten en voor een afname van de vochtigheidsgraad in het strooisel zorgen, zouden mogelijk geuremissies tot een acceptabel niveau kunnen brengen in vleeskuikensstallen. (Clarkson & Misselbrook, 1991)

Figuur 3. Verloop van geuremissie in stal met vleeskuikens (Clarkson & Misselbrook, 1991)



Figuur 4. Verloop vochtgehalte van strooisel in stal met vleeskuikens (Clarkson & Misselbrook, 1991)



Conclusies :**- Groen labelstallen :**

In een Nederlands onderzoek wordt een eerste indicatie gegeven dat Groen Labelstallen minder geur zouden emitteren. Er dient opgemerkt te worden dat de gevonden geurreductie enkel van toepassing was bij vleesvarkens en de metingen slechts op één bedrijf werden uitgevoerd dat bovendien een proefbedrijf is.

- Mestopslag :

Frequente mestverwijdering uit de stallen lijkt de geuremissies te doen dalen.

- Vloertype :

Beperking van het blootgestelde mestoppervlak leidt tot een vermindering van de geuremissies. Dit kan bekomen worden door het roosteroppervlak te verkleinen. De kans op hokbevuilding wordt echter groter naarmate de verhouding oppervlak rooster / oppervlak dichte vloer kleiner wordt.

- Ventilatie-debiet :

Verhoging van het ventilatie-debiet (met een aangepast verwarmingssysteem) leidt in vleeskuikensstallen tot een reductie van de geuremissie.

Praktijkervaring leert dat in varkensstallen het tegenovergestelde effect wordt waargenomen, namelijk een verhoging van de geuremissie bij verhoging van het ventilatie-debiet.

4.1.1.1.1 Gebouwaanpassingen op landbouwbedrijven die mogelijk leiden tot reductie van geuremissies

In dit deel worden de gebouwaanpassingen besproken die mogelijk bijdragen tot een reductie van geuremissies op landbouwbedrijven. Veel van deze technieken zijn echter enkel onderzocht in het kader van de beperking van ammoniakemissies op landbouwbedrijven. Het doel van deze technieken, namelijk snelle mestverwijdering uit de stal en verhoging van de properheid van de stal, wordt ook beoogt bij de beperking van geuremissies.

Algemeen wordt aangenomen dat de mate van bevuiling in de stallen een resultante is van een aantal op elkaar inwerkende factoren. De belangrijkste invloedsfactoren voor de bevuiling van de hokken zijn de hokindeling, mestdoorlatendheid van de vloer, stalklimaat en hokbezetting. Door beheersing van deze factoren kan de bevuiling en daardoor ook de emissie worden verminderd. De effecten van de afzonderlijke en de gecombineerde factoren is nog onvoldoende duidelijk. Voorspellingen over de mate waarin hokken schoon blijven zijn riskant. Belangrijk in dit onderzoek is de verkleining van het emitterend oppervlak. (den Hartog & Voermans, 1994)

4.1.1.1.2 Beperking van het emitterend oppervlak

Een eenvoudige manier om het emitterend oppervlak in de stal te verkleinen is een zo groot mogelijke graad van zuiverheid en hygiëne in de stal na te streven. Schoonspuiten is een techniek die gebruikt wordt om de zuiverheid in de stallen te verhogen. Bij het schoonspuiten wordt de spoelvloeistof onder druk over de stalvloer gespoten. Het schoonspuiten is zowel op dichte vloeren als op roosters toe te passen. Bij frequent spoelen zal het mestvolume met circa 50 % toenemen. Oplossingen hiervoor kunnen liggen in het hergebruik van spoelwater en/of reinigingswater vanuit bv. de melkstal. Voor deze optie is echter een aanvullende processtap nodig (afscheiden van vaste bestanddelen, gevolgd door beluchten). (Van Langenhove & Wens, 1998)

Beperking van het emitterend oppervlak door vloeraanpassingen in varkensstallen

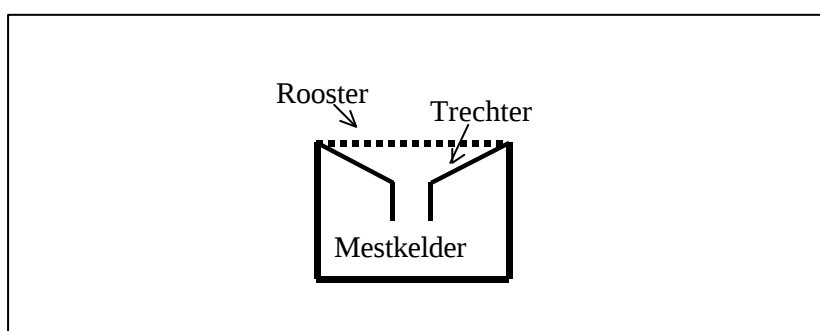
Beperking van het vloeroppervlak waarop zich mest kan verzamelen, zorgt voor een reductie in de emissie van gassen en geuren (Odor Control Task Force, 1998).

Smalle dunne balken met ruime spleten kunnen het emitterend oppervlak verkleinen, omdat faeces en urine beter worden doorgelaten. De hoeveelheid urine die na een urinelozing op het rooster achterblijft kan worden beperkt door het roosteroppervlak glad af te werken of van een coating te voorzien. Door de bovenkant van de roosterbalken iets ronder uit te voeren, zal er ook minder urine op achterblijven. Druipranden aan de zijkanten kunnen voorkomen dat de onderkant van het rooster met urine wordt bedekt. De uitvoering van het rooster hoeft niet voor het gehele roosteroppervlak gelijk te zijn. Daar waar de meeste mest wordt geproduceerd is een goede doorlaat belangrijker dan bij andere delen van het rooster. Varkens produceren de mest vooral in hoeken en langs de wanden, daar waar geen drinkbakje aanwezig is of een ander object dat veel activiteit bij de dieren veroorzaakt (Aarnink et al, 1993). Tegen de achterkant waar de mest wordt geproduceerd, kan een spleet van 8 cm worden aangebracht. (Van Langenhove & Wens, 1998)

Door het dichte vloergedeelte hellend of bol uit te voeren kan de urine goed wegstromen. Indien het vloeroppervlak glad wordt afgewerkt zal er minder urine op de vloer achterblijven. De beloopbaarheid moet echter gewaarborgd blijven. Voor een snelle afvoer van de urine naar de mestkelder speelt tevens de afstand die de urine moet afleggen een rol. Deze afstand moet zo kort mogelijk zijn met behoud van een goede scheiding tussen lig- en mestruimte. Daar waar het voeder wordt verstrekt moet de dichte vloer worden gesitueerd, aangezien varkens in het algemeen ver van de vreetplaats mesten. (Van Langenhove & Wens, 1998)

De emissie afkomstig van de mestkelders kan eveneens beperkt worden door trechters in de mestkelders te monteren (Zie figuur 5). Gecombineerd met een sproeileiding om het oppervlak proper te houden kan dit een gunstig effect hebben t.o.v. de emissie.

Figuur 5. Trechters in de mestkelder (De Vries, 1990)



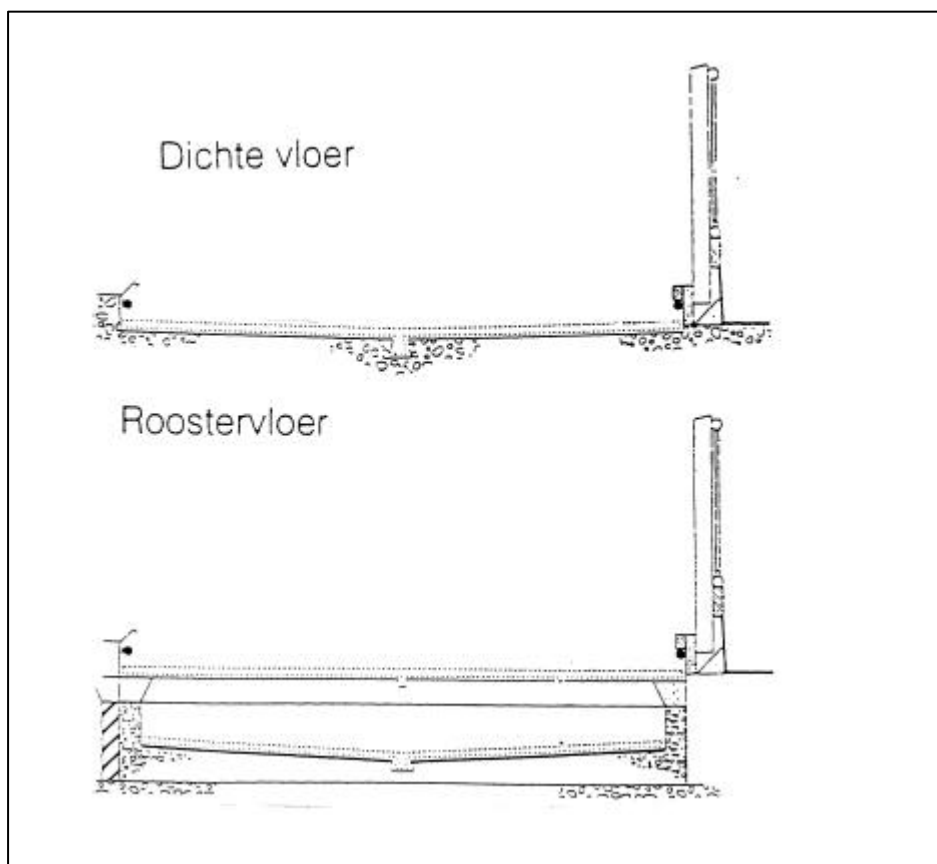
Beperking van het emitterend oppervlak door vloeraanpassingen in rundveestallen

Ook in rundveestallen kunnen de vloeren zodanig aangepast worden, dat er een snelle afvoer van urine en faeces is. Dit zal de properheid van de stal ten goede komen en een reductie van de mogelijke emitterende oppervlakken tot gevolg hebben.

Een hellende vloer met een giergoot in het midden kan bij de dichte vloeren voor een snelle afvoer van urine zorgen met als gevolg een verminderd contact tussen faeces en urine. Indien een dergelijke vloer onder een roostervloer wordt aangelegd, wordt eveneens de kelder-emissie verlaagd. (Zie figuur 6)

Een goede vloerafwerking en -uitvoering biedt mogelijkheden voor een snellere afstroming van de gier. Zo kan het aanbrengen van een toplaag (epoxyhars) op de vloer het snel afstromen van de gier bevorderen.

Figuur 6. Mestafvoer op dichte en roostervloer (De Vries, 1990b)

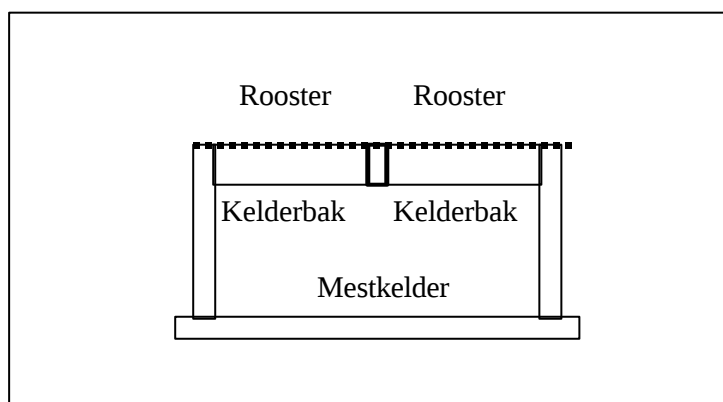


Indien het mestdoorlatend oppervlak van rundveestallen vergroot wordt, kan eveneens een emissie-vermindering bereikt worden. Er komt een grotere hoeveelheid faeces en urine terecht onder de roosters waar er minder luchtbeweging is. Aangezien het vee op de roosters moet kunnen lopen zijn er grenswaarden aan het mestdoorlatend oppervlak.

De doorlaatbaarheid kan met 40 % verhoogd worden door het gebruik van stalen roosters met een breedte van 7,5 cm ten opzichte van betonnen roosters met een breedte van 12-14 cm. Dit doordat de balken smaller zijn, en niet de spleten. Een ander voordeel van stalen roosters is dat de urine niet meer in het rooster kan dringen en er minder mest blijft aankleven. (Kant, 1996)

Door het gebruik van bakken direct onder de rooster wordt de mestkelder afgesloten, zonder dat er veel opslagcapaciteit verloren gaat. Hier dient de mest dan wel frequent uit de bakken te worden verwijderd met gebruik van een mestschuif. (Figuur 7)

Figuur 7. Schematische doorsnede van mestgang met stalen roostervloersysteem (Kant, 1996)



Conclusie

Gebouwaanpassingen die leiden tot een beperking van het emitterend oppervlak in een stal hebben een positieve invloed op de beperking van geuremissies. Beperking van het emitterend oppervlak kan in eerste instantie bekomen worden door een zo groot mogelijke graad van zuiverheid en hygiëne in de stallen na te streven. Het gebruik van ronde gladde roosters en een bolle of hellende vloer beperken ook het emitterend oppervlak.

4.1.1.1.3 Beperking van geuremissies door snelle mestverwijdering

Zeer frequente mestverwijdering, is een belangrijke manier om geuremissies uit stallen te beperken.

Algemeen kan gesteld worden dat geuremissies vanuit het gebouw toenemen naarmate er meer mest accumuleert in het gebouw, de kanalen of mestputten onder de stalvloer. Een manier om de sterk hinderlijke geuren gevormd onder anaërobe condities te vermijden, zal er dus in bestaan om de mest zo snel mogelijk uit de stal te verwijderen. (O'Neill & Phillips, 1991)

De frequentie en de 'grondigheid' van de mestverwijdering zullen vermoedelijk sterk bepalend zijn voor de mate waarin de geurproductie beperkt kan worden.

In volgende paragrafen zullen er een aantal mestverwijderingstechnieken besproken worden.

Beperking van geuremissies door snelle mestverwijdering uit varkensstallen

a) Het spoelmestsysteem

Uitgaande van de toekenning van waarderingspunten in het Vlaams Reglement op de Milieuvergunningen, "VLAREM", besluit Christiaens (1995) dat het spoelmestsysteem qua geurreductie het beste mestsysteem zou zijn. Dat dit systeem op dit vlak goed scoort, is ook de ervaring van Colanbeen & Neukermans (1993).

Bij het spoelmestsysteem wordt de mest opgevangen in ondiepe kanalen onder de stalvloer en op geregelde tijdstippen (minstens 1 tot 2 maal per dag) vanuit die kanalen weggespoeld naar een verzamelput. Bij alle spoelmestsystemen wordt vloeistof gebruikt als drijvende kracht om mestkanalen schoon te maken.

Als spoelvloeistof kan de dunne vloeibare mestfractie gebruikt worden. Aanrijking van deze spoelvloeistof met zuurstof in een beluchtingsbekken, zou ook bijdragen tot beperking van de geuremissies. Dit werd o.a. vastgesteld door Debruyckere et al. (1993) aan de hand van

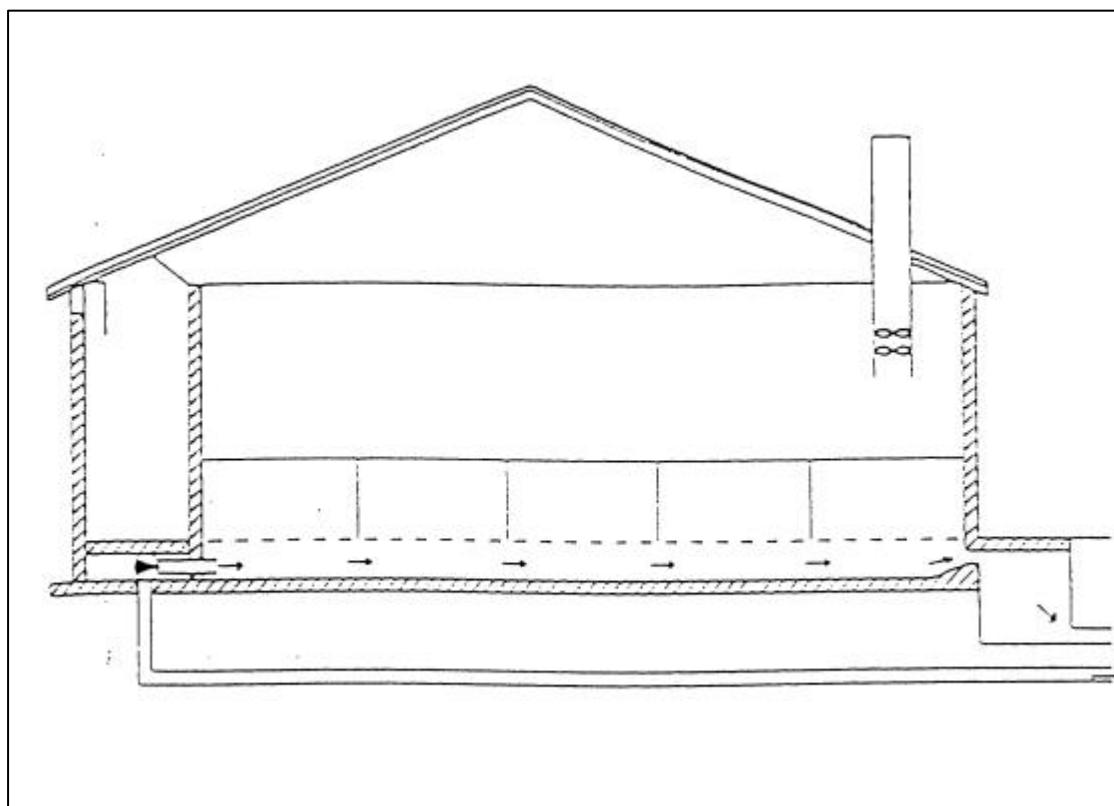
subjectieve geurwaarnemingen en afwezigheid van klachten door buurtbewoners van een stal met dergelijk systeem gelegen in een woonwijk.

Bij spoelmestsytemen kan er nog een onderscheid gemaakt worden tussen het verdringingssysteem, het vervangingssysteem en het systeem met hellende vloer.

Verdringingssysteem (figuur 8) :

Bij dit systeem hebben de afzonderlijke kanalen een directe verbinding met een gesloten afvoersysteem. Op de overgang van het kanaal naar dit afvoersysteem bevindt zich een 10 cm hoge drempel. Daardoor staat er steeds 10 cm mest met spoelwaterstof in de kanalen. De laag spoelwaterstof voorkomt aanhechten van mest op de vloer. Door enkele keren per dag (beluchte mest-)vloestof aan het andere eind van het kanaal in te pompen wordt het aanwezige mengsel van mest en spoelwaterstof verdrongen.

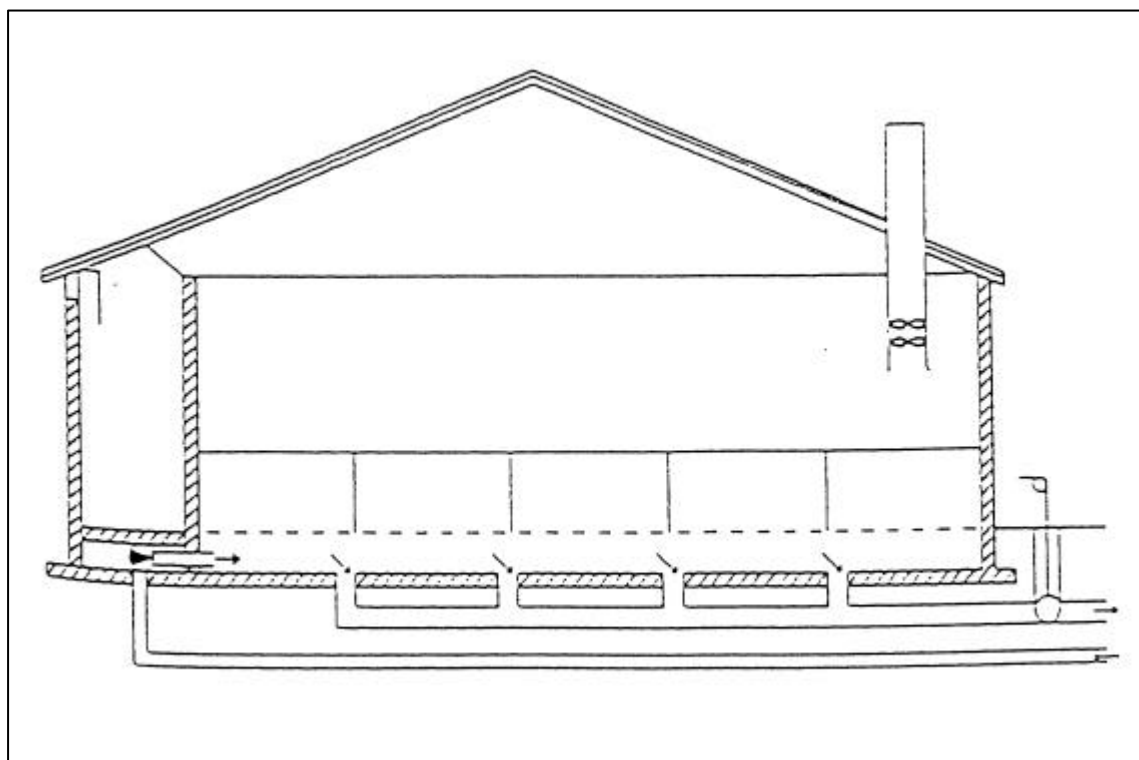
Figuur 8. Spoelmestsysteem : het verdringingssysteem (Hoeksma et al., 1993)



Vervangingssyteem (figuur 9) :

Net zoals bij het verdringingssyteem is hier een laag spoelvroelstof in de mestkanalen aanwezig. Bij het vervangingssyteem wordt eerst de hele inhoud van de kelder verwijderd, waarna een laag van 10 cm spoelvroelstof wordt teruggezet. De verwijdering van de mest en spoelvroelstof gebeurt enkele keren per dag en dit via een rioleringssyteem. Dit rioleringssyteem is eenvoudig te bedienen en betrouwbaar.

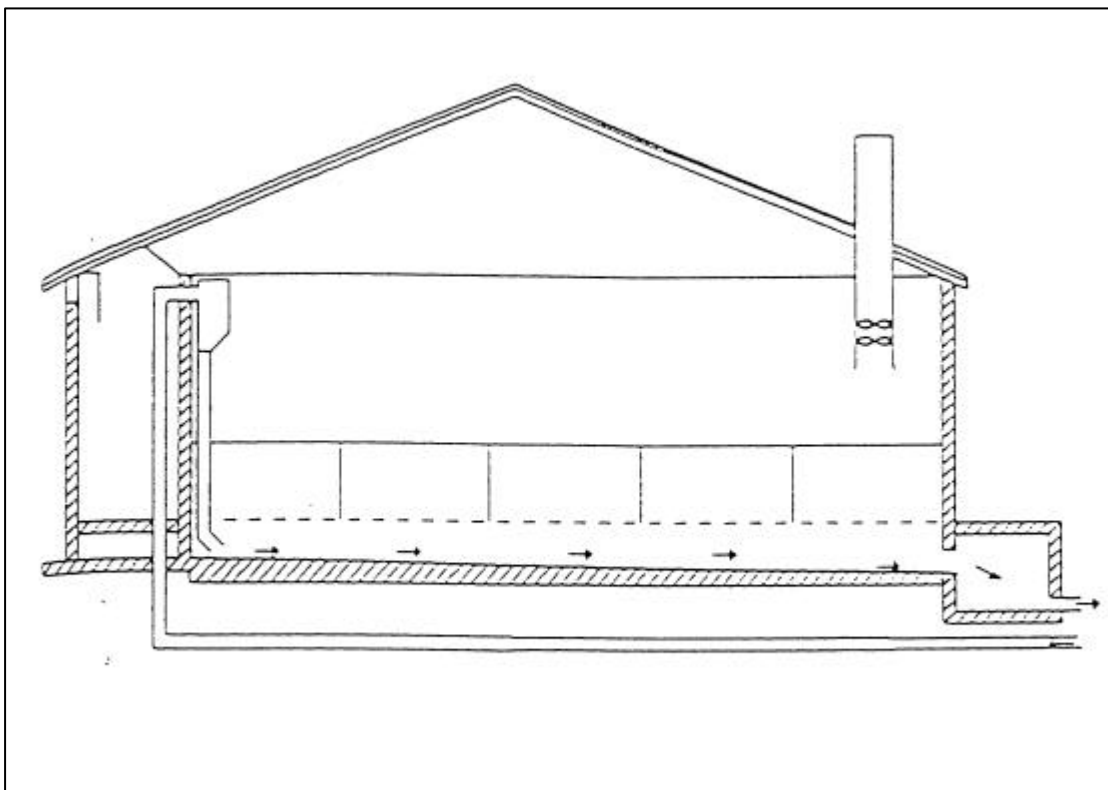
Figuur 9. Spoelmestsysteem : het vervangingssyteem (Hoeksma et al., 1993)



Syteem met hellende vloer (figuur 10) :

Bij dit syteem ligt de vloer van het mestkanaal onder een helling. Hierdoor stroomt de gier direct uit de stal en kan hij afzonderlijk worden opgevangen. De vaste mestdelen worden verwijderd door te spoelen. De spoelfrequentie bij dit syteem is hoger dan bij de andere twee sytemen, namelijk 6 keer per dag. Door de uitgespoelde mest mechanisch te scheiden in een dikke en een dunne fractie, kan de spoelvroelstof recirculeren. De dikke fractie, die het syteem verlaat, dient qua volume gelijk te zijn aan de mestproductie tussen twee spoelbeurten om de hoeveelheid spoelvroelstof in het syteem constant te houden.

Figuur 10. Spoelmestsysteem : systeem met hellende vloer (Hoeksma et al., 1993)



b) Mestschuiven

Snelle ontmesting is eveneens mogelijk door de mest onder de roosters uit de mestkanalen te schuiven. Mestschuiven zijn in diverse uitvoeringen op de markt. Enkel indien er bijna geen mestresten meer achterblijven, zal het gebruik van mestschuiven efficiënt kunnen bijdragen tot de geurreductie (den Hartog & Voermans, 1994).

Om aan de voorwaarde van volledige mestverwijdering te kunnen voldoen, worden zeer hoge eisen aan de technische uitvoering van de schuif en het vloeroppervlak gesteld. De vloer dient volkomen egaal te zijn afgewerkt. Dit is praktisch enkel te bereiken door het aanbrengen van een coating op betonvloeren of het gebruik van kunststofvloeren.

Bij het gebruik van mestschuiven kan er gewerkt worden volgens twee principes, namelijk met een gescheiden afvoer van mest en urine of met afvoer van mengmest. Bij gescheiden afvoer van mest en urine wordt er gewerkt met een hellende vloer onder de roosters met een giergoot.

Beperking van geuremissies door snelle mestverwijdering uit rundveestallen

De geurproblematiek in de rundveehouderij heeft tot nu toe nog niet veel aandacht gekregen. Toch zal ook hier de properheid van de stal en de snelle verwijdering van mest uit de stal vermoedelijk een positieve invloed op de reductie van geuremissies hebben. In dit opzicht wordt dan ook in de volgende paragrafen een beperkt overzicht gegeven van mestverwijderingssystemen in een rundveestal.

In vergelijking met varkens en pluimvee veroorzaken runderen, relatief gezien, ook minder geurhinder.

De mest kan verwijderd worden uit de stal door mestschuiven, door een spoelsysteem of een combinatie van beide.

Mestschuiven kunnen mest verwijderen van roosters, van betonnen vloeren, al dan niet gelegen onder een helling. Zowel bij de roosters als bij de betonnen vloeren bestaat de mogelijkheid om een afwerklaag aan te brengen. Deze afwerklaag kan bijdragen tot een verminderde aanhechting en indringing van faeces en urine. Naast de mogelijke voordelen die de mestschuif biedt door de snelle verwijdering van de mest, bestaat wel de kans dat mest en urine regelmatig over het gehele vloeroppervlak wordt uitgesmeerd (de Haan & Ogink, 1994).

Als mogelijk alternatief voor de storinggevoelige schuifsystemen, kan het vloeroppervlak ook gespoeld worden. Bij onderzoek naar dit systeem bleek de benodigde hoeveelheid spoelwater al snel te hoog, met een toename van het mestvolume als gevolg. Gezien de extra kosten voor mestopslag en mesttoediening (of –verwerking) die hierdoor ontstaan, is dit economisch weinig interessant.

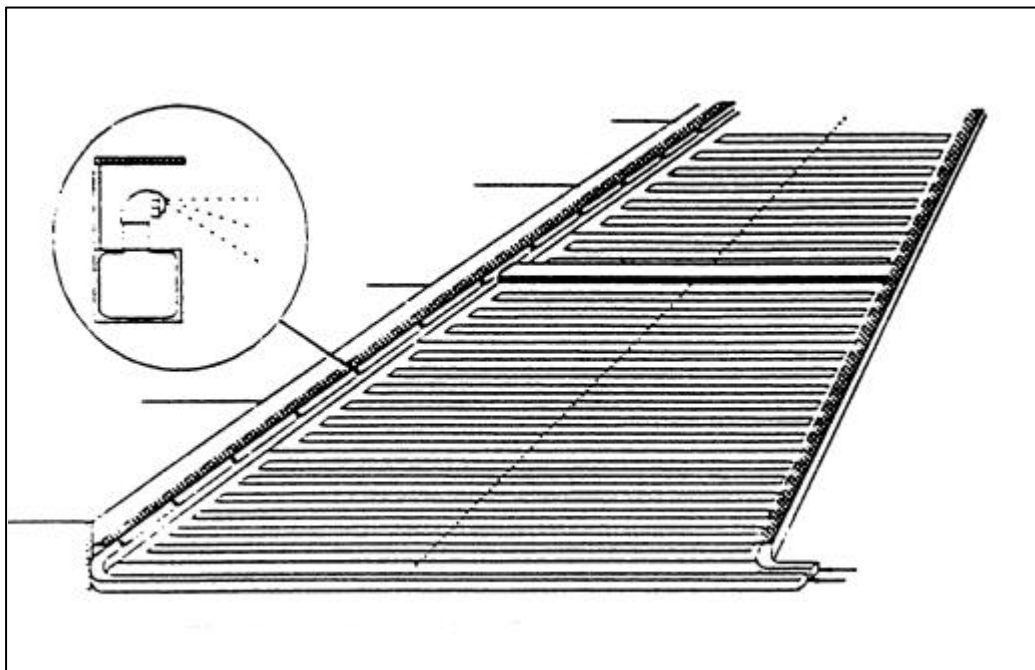
Spoelen met een beperkte hoeveelheid water in combinatie met een mestverwijdering door schuiven is daarom nader onderzocht als een meer geschikte optie (de Haan & Ogink, 1994).

Bij de ontwikkelde spoelsystemen wordt de mest eerst van de vloer geschoven voordat gespoeld wordt. De spoelvloeistof kan op een aantal manieren op het vloeroppervlak worden gebracht. De beschikbare methoden zijn spoelen via leidingen met nippels aan weerszijden

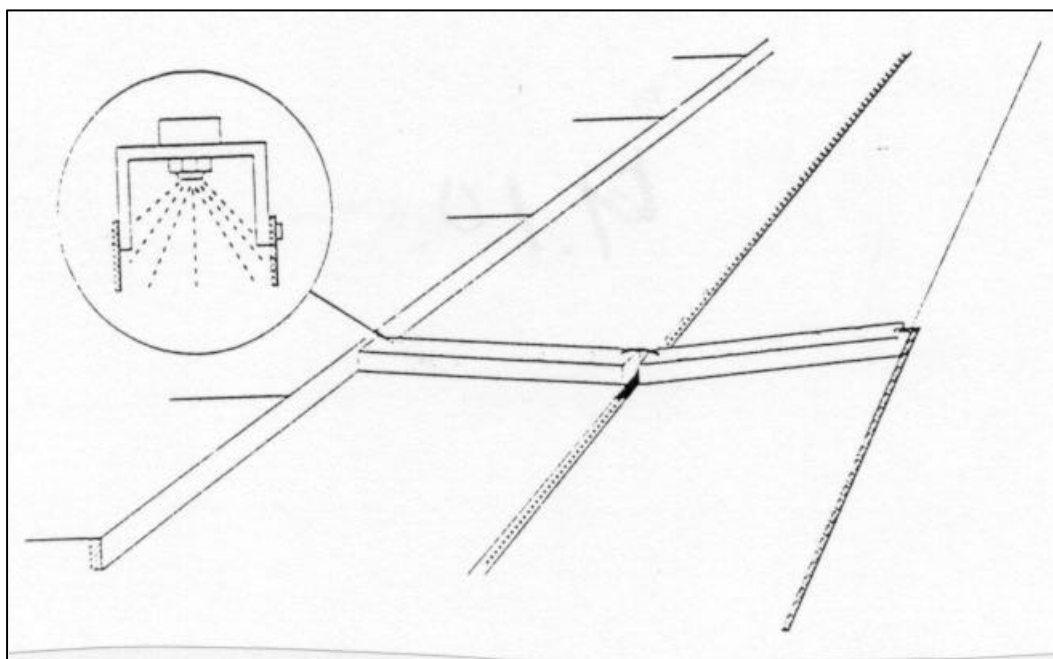
van de looppaden (zie figuur 11) en een spoelschuif (zie figuur 12). In het eerste geval wordt de vaste mest met een aparte schuif verwijderd. In het tweede geval wordt spoelen direct gecombineerd met schuiven.

De frequentie van het spoelen/schuiven is afgeleid van de urineerfrequentie van melkkoeien (8 tot 12 maal per dag) en wordt meestal ingesteld op eenmaal per twee uur. Deze frequentie werd mede gekozen om de hoeveelheid spoelwater te beperken (de Haan & Ogink, 1994).

Figuur 11. Leidingsspoelsysteem (de Haan & Ogink, 1994)



Figuur 12. Spoelschuifstelsel (de Haan & Ogink, 1994)



Beperking van geuremissies door snelle mestverwijdering uit pluimveestallen

Mestbehandeling en mestopslag in pluimveestallen is nauw verbonden met het huisvestingssysteem. De verschillende diercategoriën worden gehuisvest op batterijen, op roosters of op strooisel. De mest wordt op het pluimveebedrijf verwerkt tot dunne mest (circa 15 procent drogestof) of wordt in of buiten de stal voorgedroogd (45 tot 70 procent drogestof) of volledig gedroogd (85 procent drogestof). Mest die in het strooisel terechtkomt, vormt samen met dit strooisel de zogenaamde strooiselmest (40 tot 90 procent drogestof), ook wel strooisel genoemd.

Bij hogere temperaturen nemen de afbraak- en vervluchtigingsprocessen toe. Voor chemische en microbiologische processen (afbraak) wordt doorgaans de van-'t-Hoff-regel gehanteerd. Deze zegt dat bij iedere 10 °C de processnelheid verdubbelt. Bij temperaturen tussen 30 en 70 °C wordt gesproken van broei. Broei ontstaat onder omstandigheden waarbij de warmteafvoer beperkt is, maar nog wel voldoende water en zuurstof aanwezig is voor microbiële activiteit. Onder deze omstandigheden worden grote hoeveelheden organisch materiaal afgebroken, waaronder eiwitten en urinezuur. Behalve dat bij hogere temperaturen de vervluchtigingsprocessen toenemen, wordt ook de verdamping van water bevorderd. Hierdoor worden in een later stadium de afbraakprocessen geremd omdat water de beperkende factor voor de microbiële activiteit wordt. Broei treedt met name op in strooisel

en opslag van mest. Het kan worden tegengegaan door de mest na uitscheiding door de dieren zo snel mogelijk te drogen en door oplopende temperaturen in de mest te voorkomen. (van Middelkoop, 1994)

Sobel (1972) toonde aan dat er bij afnemend vochtgehalte in kippenmest, minder geurhinder wordt veroorzaakt. Meerdere studies in het buitenland (Kroodsmas, 1976) en aan het Centrum voor de Studie van het Stalklimaat (RUG) hebben aangetoond dat droge-mest-systemen weinig hinder (NH_3 en geur) veroorzaken in en rond de stal (Debruyckere et al., 1993).

Om vervluchtigingsprocessen in de stal te voorkomen kan de mest regelmatig verwijderd worden naar een afgesloten of overkapte opslag. Voor wel en niet gedroogde bandmest is dit een adequate oplossing. Strooisel wordt echter niet of niet volledig verwijderd. (van Middelkoop, 1994)

Volgende paragrafen geven per pluimveesoort een overzicht van de verwijderings- en droogtechnieken die mogelijk een positieve bijdrage kunnen leveren tot de beperking van geuremissies uit pluimveestallen.

a) Leghennen

Ruim 90 % van de leghennen is gehuisvest op batterijen. Het resterende deel wordt gehouden in scharrel- en volièrestallen (van Middelkoop, 1994).

Batterijen met mestopvangbanden

Reeds jaren worden batterijen met gewone mestopvangbanden, omwille van de goede hygiëne in de stal (meermalige mestafvoer per week) veel toegepast. Een nadeel is echter dat de leghennenmest hier nog als mengmest (tamelijk hoog vochtgehalte) moet worden verwerkt.

Daarom werd destijds een systeem ontworpen om de mest op de bandbatterij zelf te drogen met als streefdoel de voordelen van de vroegere droogsystemen te behouden en de nadelen te beperken. Dit is de zogenaamde beluchtebandbatterij of mestbandventilatie.

De gedroogde pluimveemest van de batterij met mestbandbeluchting is vaak wisselend van kwaliteit (drogestofgehalte) en zeker nog niet stabiel te noemen. Dit betekent dat het product

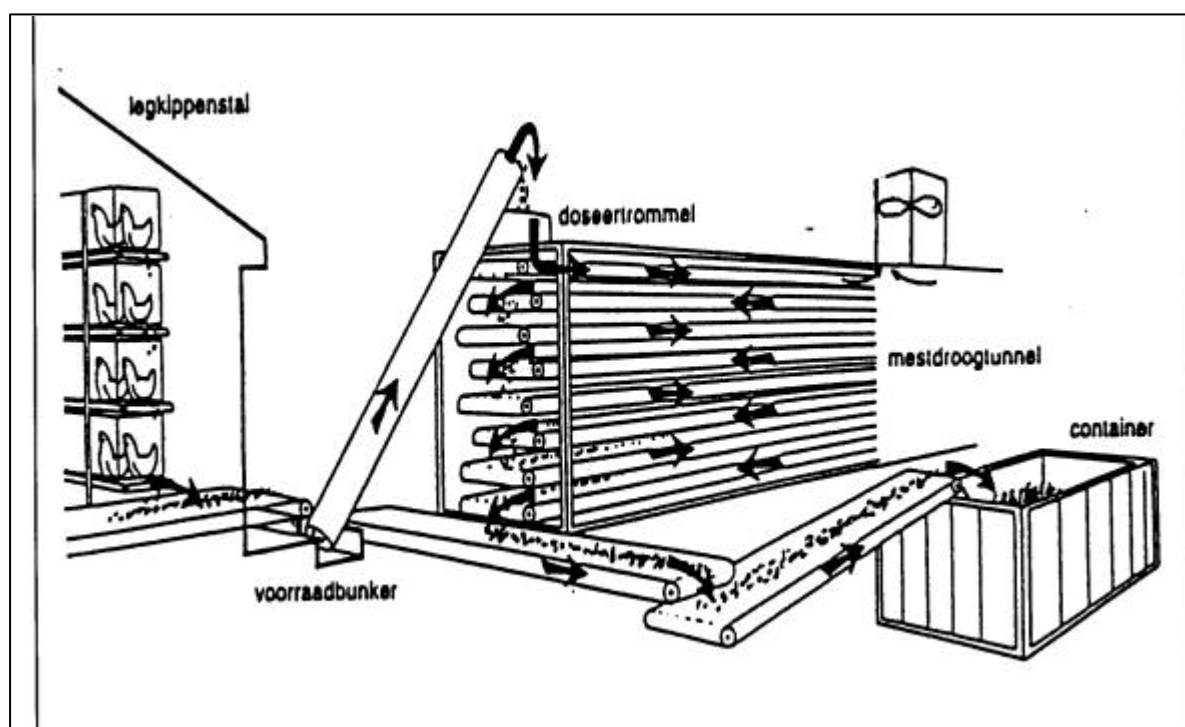
vaak nog te vochtig is en tijdens opslag begint te broeien. Om dit te vermijden kan de mest nagedroogd worden. Dit gebeurt in een aangrenzende stal waar de mest in een ongeveer 20 cm dikke laag op een geperforeerde, luchtdoorlatende vloer verdeeld wordt. Vervolgens wordt warme stallucht door de mest geblazen en droogt de mest verder in. Zo wordt voorkomen dat de mest verder gaat broeien. (Bokma, 1995)

Een andere mogelijkheid voor de nadroging, is de droging van de mest in een thermische droger. Het nadeel is evenwel dat zo'n systeem vrij veel energie vraagt.

Als alternatief voor de beluchtebandbatterij, nu vrijwel algemeen geïnstalleerd in leghennenstallen, werd recentelijker de droogtunnel ontworpen. Het voornaamste doel van de droogtunnel is het zo snel mogelijk drogen van de mest, na uitscheiding door het dier, om NH_3 - en geuruitstoot te minimaliseren en om finaal mest van beter kwaliteit te bekomen (rulle mest met verhoogde drogestofgehalte, 65 à 75 %). Dit laatste impliceert o.m. nog lagere transportkosten en ruimere toepassingsmogelijkheden. (Debruyckere et al., 1993)

De droogtunnel (figuur 13) bestaat uit een geïsoleerde koker, evenwijdig met de stal opgesteld waar doorheen een aantal mestbanden lopen. De verse kippenmest wordt opgevangen op transportbanden onder de batterijkooien, vanwaar hij dagelijks naar de droogtunnel wordt gevoerd. Via een verdeelband komt de mest op de bovenste band van de droogtunnel terecht. De verdeelband en hakselaars op enkele mestbanden zorgen ervoor dat de mest enerzijds goed verdeeld en anderzijds in niet te grote brokken op de mestbanden terechtkomt. Stallucht wordt aan een debiet van $1.5 \text{ m}^3/\text{u}$ per kip continu over de mestbanden gebracht. Bij het verlaten van de onderste band van de droogtunnel wordt de droge mest (70 % DS, 80% DS indien verwarmingssysteem wordt ingeschakeld) via een afvoervijzel op de verharde en overdekte opslagplaats gestockeerd in containers.

Figuur 13. Droogtunnel voor natte pluimveemest (Bokma, 1995).



Het systeem van de droogtunnel dient zo te worden geregeld dat de mest in ca. 24 uur aan het einde van de onderste band is gekomen. De draaitijden van de banden zijn instelbaar. Bij goed functioneren van de droogtunnel, namelijk tot een DS-gehalte van de mest hoger dan 65 %, is nabroei in de opslag praktisch uitgesloten. Eventuele knelpunten doen zich vooral in de winterperiode voor, wanneer de wens bestaat om de stalventilatie terug te brengen tot het minimumniveau van ongeveer $0.7 - 1.0 \text{ m}^3/\text{u}$ per kip, waarbij er hoge relatieve vochtgehaltes gevonden worden in de stallucht. In die situaties is het noodzakelijk om de lucht in de droogtunnel te verwarmen. (Bokma, 1995)

De bouw van een droogtunnel, zoals hier beschreven, is perfect denkbaar voor bestaande leghennenstallen met bandbatterijen en natte mest.

Geurconcentraties van luchtmonsters genomen gedurende het droogproces of van de geëmitteerde lucht uit de droogtunnel zijn niet beschikbaar. Volgens verschillende onderzoekers is gedroogde mest stabiel en zorgt deze voor minder geurhinder (Debruyckere et al., 1993; Kroodsmā, 1976; Sobel, 1972), dit sluit echter niet uit dat er gedurende het droogproces piekmissies kunnen optreden.

Batterijen met spoelmeststelsysteem

In leghennenstallen kan de mest onder de batterijen ook verwijderd worden door te spoelen. Bij het spoelmeststelsysteem met beluchting voor leghennenstallen wordt de mestopslag onder de batterijen tot een minimum beperkt. De mestopslagcapaciteit wordt aangevuld door een beluchtingsbekken dat naast de stal gebouwd wordt. Hierin zorgt een beluchtingsinstallatie voor voldoende zuurstoftoevoer in de mengmest. De beluchte mest wordt gebruikt om de geproduceerde mest onder de batterijen regelmatig weg te spoelen. Bij dit systeem is vóór het verzamelen van de mest in het beluchtingsbekken een voorafscheiding van vaste bestanddelen uit de mengmest noodzakelijk. Deze geeft een vaste fractie (30 à 35 % DS) en een zeer vloeibare fractie die naar het beluchtingsbekken gestuurd wordt. In een onderzoek van Colanbeen & Neukermans (1993) naar dit spoelmeststelsysteem met beluchting voor leghennenstallen, kon de beluchte mest reukloos bewaard en verspreid worden. De vaste fractie vormde, na het composteren of thermisch drogen een waardevol product voor land- en tuinbouw.

Volière- en scharrelstelsysteem

Het scharrelstelsysteem en het volièresysteem onderscheiden zich wezenlijk van batterijssystemen. In deze alternatieve systemen kunnen de dieren zich vrij bewegen. Er is een scharrel- of stofbadruimte aanwezig en er zijn afzonderlijke legnesten. In het volièresysteem zijn verder stellingen met roostervloeren en zitstokken aanwezig. Hierdoor is naast de oppervlakte van de stalvloer extra leefruimte beschikbaar, waardoor de dieren meer ruimte hebben dan in het scharrelstelsysteem. Zowel volière- als scharrelsystemen kunnen voorzien zijn van een uitloop naar buiten.

In deze alternatieve systemen kunnen drie mestsoorten worden onderscheiden : strooiselmest in de scharrel- of stofbadruimte, mest die door roosters in een mestput (scharrelstelsysteem) of op banden (volièresysteem) valt en tot slot de mest die in de uitloop buiten de stal terecht komt.

Om het drogestofgehalte van de strooiselmest tijdens de legronde te verhogen, kunnen er een aantal maatregelen getroffen worden. Deze maatregelen zijn gebaseerd op het bevorderen van het droogproces en/of het tegengaan van watertoevoer :

- tegengaan van watervermorsing door waterbeperking en lekbakjes

- tegengaan van condensatie op de stalvloer door het voorzien van voldoende vloer- en wandisolatie
- bevorderen van de scharrelintensiteit door het strooien van haver
- bevorderen van extra luchtbeweging over het strooisel
- tegengaan van dikke strooisellagen door middel van het tussentijds verwijderen van een deel van het strooisel.

Het bevorderen van de luchtbeweging over het strooisel is een mogelijke techniek om het droogproces van de mest te bevorderen en zo bij te dragen tot een geurreductie van de mest op langere termijn. Dit sluit niet uit dat verhoogde luchtbewegingen over de mest, piekmissies kunnen teweeg brengen.

De bandmest in scharrel- en volièresystemen kan op dezelfde wijze worden behandeld als in mestbandbatterijen. Bij opslag van de mest in een mestput onder de roosters, wordt deze aan het einde van de legronde verwijderd met een lader of tijdens de legronde door schuiven en/of schrapers. Voor mestdroging in een mestput zijn (nog) geen goede droogsystemen beschikbaar, waardoor broei optreedt.

De uitlopmest die buiten de stal terecht komt, kan eigenlijk niet verwijderd worden. (van Middelkoop, 1994)

b) Vleeskuikens

Vleeskuikens worden voor het overgrote deel gehuisvest in mechanisch geventileerde stallen. De dieren worden gehouden op volledig strooisel en krijgen min of meer onbeperkt voeder en water. Als strooiselmateriaal wordt meestal gebruik gemaakt van witte houtkrullen en soms van stro. De hoeveelheid houtkrullen die gebruikt wordt is ongeveer 1 kg per m² vloeroppervlakte. De mest bij vleeskuikens wordt tussentijds niet afgevoerd. Het is derhalve van groot belang dat de mest droog blijft.

Het drinkwatersysteem is van invloed op de hoeveelheid morswater. Bij het gebruik van drinknippels blijft het strooisel tijdens de mestperiode doorgaans droger dan bij ronddrinkers (van Middelkoop, 1994). Het lijkt dus best mogelijk dat het drinksysteem een belangrijke

factor zou kunnen zijn in de bijdrage tot de geuremissies. Ook verhoging van het ventilatiedebiet, gecombineerd met extra warmte-toevoer, lijkt een bijdrage te kunnen leveren tot de beperking van geuremissies. (Clarkson & Misselbrook, 1991)

De bezettingsdichtheid is van belang met betrekking tot de hoeveelheid mest die per oppervlakte-eenheid wordt geproduceerd. Dit heeft invloed op de rulheid van het strooisel en hierdoor weer op de gasuitwisseling in de strooisellaag. Het aflevergewicht van de dieren is van belang vanwege de duur van de mestperiode en de mestproductie per dag. Vooral aan het eind van de mestperiode is de mestproductie behoorlijk hoog. Bij een bezetting van 20 kuikens per m^2 en een aflevergewicht van 2200 gram loopt de mestproductie de laatste week op tot 3.5 kg per m^2 vloeroppervlakte per dag, waarvan 2,7 liter vocht. (van Middelkoop, 1994)

c) Ouderdieren

Vleeskuikenouderdieren worden voornamelijk opgefokt in mechanisch geventileerde stallen, waarbij vrijwel alle dieren op volledig strooisel worden gehouden. Het strooisel is redelijk droog doordat de dieren beperkt voeder en water krijgen.

Tijdens de legperiode worden de meeste vleeskuikenouderdieren gehouden in gordijnstallen met natuurlijke ventilatie. De dieren lopen op volledig strooisel of op gedeeltelijk strooisel. In stallen met volledig strooisel worden er vaak zogenaamde miniroosters voor de legnesten geplaatst om de dieren beter op de nesten te krijgen. Emissiereducties kunnen bereikt worden door de mest onder de roosters regelmatig uit de stal te verwijderen. Het gebruik van mestbanden die dagelijks of afhankelijk van de mate van droging worden leeggehaald, is een mogelijkheid.

Een andere optie is het drogen van de mest onder het rooster door hem voortdurend te beluchten.

De mogelijkheid bestaat ook om de ouderdieren te houden op alternatieve systemen, zoals een volledig rooster of het verhogen van het aandeel rooster door etagehuisvesting. Een bijzondere vorm van huisvesting is het zogenaamde veranda systeem. Dit systeem bestaat uit twee of drie etages boven elkaar. Doordat de mest bij dit systeem dagelijks kan worden

afgedraaid en doordat bovendien mestbandbeluchting kan worden toegepast zal dit mogelijk ook leiden tot een beperking van de emissies. (van Middelkoop, 1994)

Conclusie :

Algemeen kan gesteld worden dat geuremissies vanuit het gebouw toenemen naarmate er meer mest accumuleert in het gebouw, de kanalen of mestputten onder de stalvloer. Een manier om de sterk hinderlijke geuren gevormd onder anaërobe condities te vermijden, zal er dus in bestaan om de mest zo snel mogelijk uit de stal te verwijderen.

Praktijkervaring leert dat de systemen voor snelle mestverwijdering enkel effectief kunnen zijn om geuremissies te beperken indien ze ook werkelijk gebruikt worden om de mest snel af te voeren. Enkel het bouwen van dergelijke systemen geeft dus nog geen garantie voor een beperking van de emissies.

In tabel 21, 22 en 23 wordt een overzicht gegeven van de mogelijke geurreductietechnieken door gebouwaanpassingen in respectievelijk varkensstallen, pluimveestallen en rundveestallen. Hierbij worden ook de hiervoor relevante onderzoeken vermeld.

Tabel 21. Overzicht mogelijke geurreductietechnieken door gebouwaanpassingen in varkensstallen, alsook de hiervoor relevante onderzoeken.

Varkens				
Overzicht uitgevoerde geurconcentratie- (en emissie)metingen in varkensstallen met betrekking tot gebouwaanpassingen				
Groen Labelstal t.o.v. traditionele stal (Verdoes & Ogink, 1997)				
	Ventilatiedebiet [m ³ .u ⁻¹ .dier ⁻¹]		Geuremissie [ou _E .s ⁻¹ .dier ⁻¹]	Geuremissiereductie t.o.v. traditionele huisvestingstype [%]
Vleesvarkens in traditionele stal	33.3		22.6	
Vleesvarkens in Groen Labelstal met dieet waarbij CaCO ₃ vervangen is door een mix van organische zuren	57.1		14.21	37
Vleesvarkens in Groen Labelstal met dieet waarbij multifase voeding werd toegepast	42.1		10.10	55
Vergelijking type mestopslag in stal (Van Geelen & van der Hoek, 1982)				
		Geurconcentratie [ge/m ³]		Geurconcentratie- reductie t.o.v. mengmestopslag [%]
Mengmestopslag		97		
Droge mestopslag		39		60
Vergelijking van verschillende vloertypes (Klarenbeek et al., 1982)				
Vloertype	Aandeel roosteroppervlak van vloer [%]		Geuremissie [ge.u ⁻¹ . kg-diergewicht ⁻¹]	Geuremissiereductie t.o.v. vol-rooster [%]
Vol-rooster	100		142	
Half-rooster	72		103	28
Deens	58		16	89
Opmerking : enkel de geureenheden uit het onderzoek van Verdoes & Ogink (1997) zijn relevant ter vergelijking met waarden afkomstig uit andere recente olfactometrische analyses. Geurconcentraties en -emissies uit de andere onderzoeken (Van Geelen & van der Hoek (1982), Klarenbeek et al. (1982)) zijn enkel bruikbaar om binnen het onderzoek het relatief aandeel in geuremissie te bekijken.				
Overzicht van gebouwaanpassingen in varkensstallen die mogelijk bijdragen tot een geurreductie				
Omschrijving	Ingrep		Doel	
Vloeraanpassing	Gebruik van geschikte verhouding roosteroppervlak/dichte vloer. Bv. 25 % roosters (Aarnink, 1997)		Beperking emissie uit mestkelder en beperking van hokbevuiling	
	Roosters met smalle gladde balken en ruime spleten, achteraan hok een brede spleet		Bevorderen van doorlatendheid van faeces en urine	
	Hellende/Bolle uitvoering van vaste vloergedeelte		Bevorderen van het wegstromen van urine	
	Onder de roosters plaatsing van trechters in mestkelder, gecombineerd met sproeileiding		Beperking van kelderemissie / emitterend oppervlak	
Mestverwijdering uit stal	Spoelmestsysteem : beste mestsysteem qua geurreductie (Christiaens, 1995; Colanbeen & Neukermans, 1993), mogelijk gebruik van (met zuurstofaangerijkte) dunne mestfractie als spoelvloeistof (Debruyckere et al., 1993)		Frequente (1-2 / dag) mestverwijdering uit ondiepe kanalen door wegspoeling naar verzamelput	
	Mestschuiven, enkel bij volledige mestverwijdering effectief (Volkomen egale vloer: coating op betonvloer of kunststofvloer)		Frequente mestverwijdering door de mest onder de roosters uit de mestkanalen te schuiven	

Tabel 22. Overzicht mogelijke geurreductietechnieken door gebouwaanpassing in pluimveestallen, alsook de hiervoor relevante onderzoeken.

Pluimvee					
Overzicht uitgevoerde geurconcentratie- en (emissie)metingen in pluimveestallen met betrekking tot gebouwaanpassingen					
Vergelijking type mestopslag/verwijdering in kippenstal (legbatterij) (Van Geelen & van der Hoek, 1982)					
		Geurconcentratie [ge/m ³]		Geurconcentratie-reductie t.o.v. mengmestopslag [%]	
Mengmestopslag		258			
Mestbandsysteem		59		77	
Onderzoek naar geurconcentraties- en emissies op vleeskuikensbedrijven (Clarkson & Misselbrook, 1991)					
Invloed van het drinkstelsel op de geurconcentraties in een vleeskuikensstal					
		Geurconcentratie [ge/m ³] (spreiding)		Geurconcentratie-reductie t.o.v. ronddrinkers [%]	
Ronddrinkers	meting 1	1300 - 2400			
	meting 2	750 - 1500			
Drinknippels	meting 1	500 - 600		38 - 75	
	meting 2	250 - 400		66 - 73	
Evolutie van geuremissie gedurende de opgroei van vleeskuikens, alsook de invloed van een verhoogde stalventilatie					
Aantal dagen dat vleeskuikens zich reeds in stal bevinden	Vochtgehalte in strooisel [%] in 'normale' stal	Vochtgehalte in strooisel [%] in stal met verhoogde ventilatie	Geuremissie [ge.s ⁻¹ . 1000 dieren ⁻¹] in 'normale' stal	Geuremissie [ge.s ⁻¹ . 1000 dieren ⁻¹] in stal met verhoogde ventilatie	Geuremissie-reductie t.g.v. verhoogde ventilatie [%]
3	3				
17			300		
19		15		100	
24	26		200		
30	35		250		0
33		25		250	
38	40		500		50
42		27	1550	225	85
44	51				
54		26		250	
Overzicht van gebouwaanpassingen in pluimveestallen die mogelijk bijdragen tot een geurreductie					
	Ingreep		Doel	Opmerking	
Leghennen * Batterij	* - Beluchtebandbatterij, eventueel met nadroging - Droogtunnel - Spoelmeststelsel met beluchting		* - Snelle mestverwijdering uit stal en verhogen drogestofgehalte ter vermindering van broei - Snelle mestverwijdering uit stal en vermijden van anaërobe condities * Bevordering van het droogproces en tegengaan van watertoevoer aan strooisel.	Hoofdoel van deze verschillende technieken is om de mest zo droog mogelijk te houden en broei te voorkomen. Dit sluit echter niet uit dat er tijdens het droogproces (bv. in droogtunnel) geen extra emissies kunnen optreden.	
* Volière- en scharrelstelsel	* - Gebruik van geschikte drinkbekertype (drinknippels) - Dikke strooisellagen vermijden door het tussentijds verwijderen van een deel van het strooisel * Verwijderen van bandmest, analoog als bij batterij				
Vleeskuikens	* Gebruik van geschikte drinkbekertype (drinknippels) * Extra warmtetoevoer in stal met verhoging van ventilatiedebiet * Geen te hoge bezettingsgraad		* Bevordering van het droogproces en tegengaan van watertoevoer aan strooisel * Beperking mestproductie		
Ouderdieren	* Dieren op strooisel : strooisel blijft redelijk droog door beperkte voeder- en watertoevoer * Dieren op rooster : mestverwijdering met beluchte mestband		* Snelle mestverwijdering uit stal en verhogen drogestofgehalte van mest		

Tabel 23. Overzicht mogelijke geurreductietechnieken door gebouwaanpassing in rundveestallen.

Rundvee		
Overzicht uitgevoerde geurconcentratie- en (emissie)metingen in rundveestallen met betrekking tot gebouwaanpassingen		
Er zijn geen relevante onderzoeken met geurconcentratie- en (emissie)metingen beschikbaar die mogelijk bijdragen tot een beter inzicht in de werking van geurreductietechnieken in rundveestallen		
Overzicht van gebouwaanpassingen in rundveestallen die mogelijk bijdragen tot een geurreductie		
Omschrijving	Ingreep	Doel
Vloeraanpassing	- Hellende vloer met een giergoot in het midden, mogelijk onder een rooster. Goede vloerafwerking (toplaag van epoxyhars) zorgt voor een snelle afstroming van de gier. - Plaatsing van bakken (met mestschuif) onder roosters - Verhogen mestdoorlatendheid van rooster, door gebruik van smallere stalen balken (spleetbreedte behouden)	- Snelle afvoer van urine en verlaging van kelderemissie - Verlaging van kelderemissie - Grotere hoeveelheid faeces en urine onder rooster, waar er minder luchtbeweging is
Mest-verwijdering uit stal	Spoelen van de vloer met een beperkte hoeveelheid water in combinatie met mestverwijdering door schuiven. Frequentie spoelen/schuiven : 8 tot 12 maal per dag. Mestschuiven kunnen de mest verwijderen van roosters en van betonnen vloeren, mogelijkheid bestaat om op de vloer/rooster een afwerklaag aan te brengen	Proper houden van stal door frequente en grondige mestverwijdering

4.1.1.2 Gebruik van diepstrooiselstal voor varkens

Het diepstrooiselsysteem is een huisvestingstechniek, waarbij de varkens op een laag strooisel gehouden worden. De hoofdobjectieven van dit staltype zijn onder meer : mestvolume-verlaging, betere gezondheid en welzijn van de dieren en een reductie van de NH₃- en geuremissie.

Het strooisel wordt pas na meerdere ronden verwijderd. Een poedervormig of vloeibaar preparaat dat micro-organismen, enzymen en fermentatie-stimulerende agentia bevat, dient aan het zaagsel-mest-bed van ± 70 cm dik in de varkensstal te worden toegediend. Door toevoeging van dit preparaat dat verantwoordelijk is voor het strooiselafbraakproces volgens aërobe reacties, wordt de compostering immers beter in de hand gehouden. Na een week wordt in het strooiselbed een temperatuur van 35 à 40 °C bereikt, waarna het composteringsproces kan starten. Door de ontwikkelde warmte verdampt het vocht van de mest en de urine. Het strooiselbed dient wekelijks omgewerkt en besprenkeld te worden met een enzymenpreparaat. Gedurende anderhalf jaar kunnen er dan continu varkens gehouden worden op hetzelfde strooiselbed. (De Bruyckere et al., 1993)

Het grootste voordeel van de diepstrooiselstal zou zijn dat, bij goed functioneren, de emissie aan geurstoffen afneemt (Christiaens, 1995; Huysman et al., 1993; Kay, 1992; Nicks et al., 1997). Er zijn geen metingen verricht die dit bevestigen. De lagere emissie van geurcomponenten van diepstrooiselstallen t.o.v. traditionele huisvestingstypen, is hoofdzakelijk gebaseerd op subjectieve waarnemingen.

Naast de voordelen van het diepstrooiselsysteem, zijn er ook een aantal belangrijke nadelen aan verbonden. Een overzicht van de voor- en nadelen wordt weergegeven in tabel 24.

Tabel 24. Overzicht van de voor- en nadelen van diepstrooiselstal voor varkens t.o.v. traditionele huisvestingstypen.

Voordelen	Opmerking
Reductie van geuremissie ^{(1), (2), (4), (5), (6)}	Tijdens bewerking van het strooisel treden er wel pieken op van geur-, NH ₃ - en stofemissies
Reductie van NH ₃ -emissie ^{(1), (2), (3), (4), (6)}	
Reductie van stof in de stal ^{(2), (4), (7)}	
Reductie van mestvolume : vorming van compost i.p.v. drijfmest ^{(2), (4), (7)}	Mogelijke afzet kan begrenst worden door toenemende hoeveelheden GFT-compost
Verhoging dierenwelzijn door uitoefening van hun natuurlijke gedrag (wroeten) ^{(2), (4), (6), (7)}	
Nadelen	Opmerking
Verhoging arbeidsbehoefte ^{(2), (4), (7)}	Algemeen wordt gesteld dat de arbeidsintensiteit verdubbelt t.o.v. deze bij het conventionele systeem
Totale stikstofemissie (NH ₃ + NO + N ₂ O) ligt hoger ^{(1), (2), (3), (4), (7)} : (40%) ⁽¹⁾	In het strooiselbed zou zich een nitrificatie - denitrificatieproces moeten voordoen dat uiteindelijk resulteert in de productie van onschadelijk stikstofgas (N ₂). Wanneer de omstandigheden echter niet optimaal zijn voor één van beide processen, dan kunnen ook ongewenste verbindingen zoals stikstofmonoxide (NO) en lachgas (N ₂ O) worden gevormd en ontsnappen in de lucht.
Weinig economisch perspectiefvol voor de individuele varkenshouder ⁽⁷⁾	
Aanwezigheid van sporen van Acinomyeten in stallucht, verantwoordelijk voor allergische longaandoeningen bij de mens. ^{(2), (5), (7)}	Noodzakelijk/wenselijk om een gezichtsmasker te dragen tijdens bewerking. Ook ter bescherming tegen vrijkomen van gassen (NH ₃ , N ₂ O, NO _x en H ₂ S) en stof tijdens bewerking.
Conditie van strooisel zijn moeilijk in de hand te houden : drogestof-percentages en strooiselstructuur ^{(2), (7)}	Optimale deeltjesgrootte van het zaagselbed : tussen 2 en 4 mm. ⁽⁷⁾ Optimale drogestof-percentages : moet tussen de 40 en 50 % blijven. ⁽⁷⁾
Verschillende leeftijdsgroepen zitten samen : dieren hebben verschillende klimaats- en voederbehoeften. ⁽⁴⁾	

(1) : Christiaens, (1995).

(2) : Debruyckere et al., (1993).

(3) : Groenestein & Van Faassen, (1996).

(4) : Huysman et al., (1993).

(5) : Kay, (1992).

(6) : Nicks et al., (1997).

(7) : van de Sande-Schellekens et al., (1993a).

Theoretisch gezien zou de introductie van het diepstrooiselsysteem grote voordelen bieden. Er is namelijk geen waterige mest, weinig geur- en NH_3 -emissie, geen stof en een beter welzijn van het dier.

Belangrijke chemische en biologische processen bij de compostering die nauwkeurig gecontroleerd moeten worden, maken het systeem in de praktijk echter bijzonder complex. Momenteel is de heersende kennis m.b.t. het composteringsproces nog te beperkt om het diepstrooiselsysteem volledig te beheersen.

In Canada werd naar aanleiding van het diepstrooiselsysteem een variante van dit systeem bedacht, nl. de eco-stal. De eco-stal zou zowel een verbetering voor het milieu kunnen zijn als voor het welzijn van het dier. In de eco-stal wordt het composteringsproces gescheiden van de huisvesting van de varkens. De varkens worden gehouden op een strooisellaag bestaande uit bv. dennenhoutschilfers. De laag kan met behulp van een schraper uit het gebouw getransporteerd worden naar een composthal.

In de eco-stal worden de zelfde objectieven beoogt als in een gewone diepstrooiselstal, o.a. een reductie van de NH_3 - en geuremissie en een betere gezondheid en welzijn van de dieren. Het grote nadeel van de eco-stal is echter, net zoals bij de gewone diepstrooiselstal, de grote arbeidsbehoefte en slechte arbeidsomstandigheden. (Huysman et al., 1997)

Conclusie :

Het grootste voordeel van het gebruik van een diepstrooiselsysteem zou een beperking van de geur- en NH_3 -emissies zijn. Deze bevindingen zijn echter enkel maar gebaseerd op subjectieve waarnemingen. Ook voor het dierenwelzijn zouden diepstrooiselstallen gunstig zijn.

Belangrijke nadelen van het systeem zijn de grote arbeidsbehoefte, het weinig economisch perspectiefvol zijn en het moeilijk te controleren composteringsproces van het strooisel.

4.1.2 Aanpassen van de voeding

Geuremissies kunnen gereduceerd worden door de voeding dusdanig aan te passen dat de bronnen van de geurcomponenten gereduceerd of verwijderd worden. Dit is een techniek waar nog veel onderzoek moet naar gebeuren maar toch al een aantal beloftevolle resultaten heeft opgeleverd.

4.1.2.1 Verandering van de voedersamenstelling

Huidige standaard diëten voor varkens voldoen meestal wel aan de nutritionele behoeften inzake de meeste van de beperkende aminozuren. Vaak worden in deze varkensdiëten wel de nodige hoeveelheden van andere aminozuren overtroffen. Degradatie van dit teveel aan eiwitten kan dan resulteren in de productie van geuren (Sutton et al, 1997). Door het ruw eiwit gehalte van een typisch maïs-soja dieet te verminderen en waarbij de nodige hoeveelheid essentiële aminozuren op peil wordt gebracht, kan er gekomen worden tot een efficiënter N-gebruik en minder uitscheiding van N-componenten en geurcomponenten in de mest (Sutton et al, 1997).

Hobbs et al. (1996) voerden een experiment uit waarbij zowel vleesvarkens in de groeifase (gewicht tussen 35 en 65 kg) als vleesvarkens in de afmestfase (gewicht tussen 65 en 95 kg) verschillende diëten toegediend kregen. De experimentele diëten werden zo opgezet dat het voeder een zo laag mogelijke hoeveelheid ruwe eiwitten bevatte, maar dat de verhouding van lysine tot (methionine + cystine), threonine en tryptofaan respectievelijk 1 tot 0.6, 0.65 en 0.20 behouden bleef. De ruwe eiwitten werden vervangen door eenvoudige synthetische aminozuren, die een betere verteerbaarheid hebben dan de complexe eiwitten gevonden in het commerciële (niet aangepaste) dieet. De eiwit-balans werd gemeten door de ingenomen N te vergelijken met de uitgescheiden N.

Uit dit onderzoek kon het volgende besloten worden :

- Voor beide groeifases (groeifase en afmestfase) werd een N-afname in de mest van ongeveer 40% waargenomen bij de dieren die gevoed werden met verminderde ruwe eiwitten in het voedsel.

- Uit chemische analyses van monsters genomen uit de mest, bleek dat er een afname was van geurproducerende componenten. Dit was zo voor de beide groeistadia van de varkens die het aangepaste dieet toegediend kregen.
- Bij varkens in de afmestfase werd er, in vergelijking met varkens in de groeifase, een lagere concentratie aan geurproducerende componenten en ammoniak in de mest gevonden, wanneer ze hetzelfde dieet toegediend kregen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de einddarm van oudere varkens langer is en dit de bacteriële fermentatie verlengt door een grotere verblijftijd in de darm (Pfeiffer, 1993).

Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de conclusies getrokken uit chemische analyses naar beperking van geuremissies uit de mest, kritisch benaderd moeten worden. Zo zullen sulfiden bijvoorbeeld, met een grote Henry coëfficiënt ($\rightarrow K_{lw} = [\text{concentratie in de lucht} / \text{concentratie in water}]$), weinig affiniteit vertonen voor een waterig medium als mengmest. Voor deze moleculen zal het dan ook moeilijk zijn om representatieve concentraties in de mest te bepalen.

Aanpassing van het dieet leidt mogelijk ook tot het ontstaan van andere geurproducerende componenten, dan deze die gevonden worden bij emissies uit mest van dieren gevoederd met een niet aangepast dieet. Hobbs et al. (1996) beperkten zich in het hoger beschreven onderzoek tot 13 geurcomponenten die verantwoordelijk werden gesteld voor de geurhinder veroorzaakt door de mest. Deze beperking leidt dan mogelijk ook tot een verkeerd beeld van de totale geëmitteerde geurcomponenten uit de mest.

In een gelijkaardig onderzoek van Hobbs et al. (1998) werden olfactometrische metingen uitgevoerd van luchtmonsters genomen boven mest van varkens die een dieet toegediend kregen met een beperkt aantal ruwe eiwitten en met een commercieel (niet aangepast) dieet als referentie. De resultaten van dit onderzoek worden weergegeven in tabel 25.

Tabel 25. Geuremissies uit mest van vleesvarkens in de groeifase en afmestfase, gevoederd met een commercieel dieet en een dieet met beperkt aantal ruwe eiwitten.

Vleesvarkens in de groeifase (35 - 65 kg)					
Mannelijk			Vrouwelijk		
Dieet 1 ⁽¹⁾ [ge.m ⁻² .min ⁻¹]	Dieet 2 ⁽²⁾ [ge.m ⁻² .min ⁻¹]	Reductie geuremissie [%] ⁽⁵⁾	Dieet 1 ⁽¹⁾ [ge.m ⁻² .min ⁻¹]	Dieet 2 ⁽²⁾ [ge.m ⁻² .min ⁻¹]	Reductie geuremissie [%] ⁽⁵⁾
6.17 . 10 ⁵	3.23 . 10 ⁵	48	5.70 . 10 ⁵	6.53 . 10 ⁵	< 0
Vleesvarkens in de afmestfase (65 - 95 kg)					
Mannelijk			Vrouwelijk		
Dieet 3 ⁽³⁾ [ge.m ⁻² .min ⁻¹]	Dieet 4 ⁽⁴⁾ [ge.m ⁻² .min ⁻¹]	Reductie geuremissie [%] ⁽⁵⁾	Dieet 3 ⁽³⁾ [ge.m ⁻² .min ⁻¹]	Dieet 4 ⁽⁴⁾ [ge.m ⁻² .min ⁻¹]	Reductie geuremissie [%] ⁽⁵⁾
2.50 . 10 ⁶	1.04 . 10 ⁶	58	2.49 . 10 ⁶	2.65 . 10 ⁶	< 0

(1) : commercieel dieet voor vleesvarkens in de groeifase

(2) : dieet met beperkt aantal ruwe eiwitten voor vleesvarkens in de groeifase

(3) : commercieel dieet voor vleesvarkens in de afmestfase

(4) : dieet met beperkt aantal ruwe eiwitten voor vleesvarkens in de afmestfase

(5) : reductie van geuremissie uit varkensmest van dieren gevoederd met een dieet met een beperkt aantal ruwe eiwitten ten opzichte van een commercieel dieet

Uit tabel 25 blijkt dat de geuremissie uit varkensmest kan verschillen afhankelijk van het geslacht van de dieren. Hobbs et al. (1998) vonden dat een dieet met gereduceerd ruw eiwit minder efficiënt werkt op de reductie van geuremissies uit mest van vrouwelijke vleesvarkens dan deze van mannelijke vleesvarkens. Voor mannelijke vleesvarkens wordt er een geuremissiereductie van $\pm 50\%$ gevonden van dieren gevoed met een dieet met een beperkt aantal ruwe eiwitten ten opzichte van een commercieel dieet. Voor vrouwelijke vleesvarkens wordt hier geen reductie van de geuremissies vastgesteld voor de dieren met het aangepaste dieet. Dit geldt zowel voor vleesvarkens in de groeifase als voor vleesvarkens in de afmestfase.

Conclusie :

Vermindering van het ruw eiwitgehalte in het voeder van vleesvarkens kan tot een reductie van de geuremissie leiden. Deze geurreductietechniek lijkt eerder effectief voor mannelijke en oudere vleesvarkens.

4.1.2.2 Toevoeging van water aan het voeder

Voor gespeende biggen wordt algemeen aanvaard dat toediening van vloeibaar voedsel voor een betere voedselopname, groei, voederconversie en gezondheid zorgt (Partridge & Gill, 1993). Een betere conversie van het voeder zou moeten resulteren in een vermindering van substraat voor geurproducerende componenten (Hobbs et al., 1997). Toediening van water aan het voedsel zorgt wel voor grotere hoeveelheden mest.

In een onderzoek van Hobbs et al. (1997) resulteerde toediening van water aan het voeder met water/voeder-verhoudingen van 3/1 en 4/1 respectievelijk in een reductie van 77 en 92 % van het totaal aantal (13) chemisch bepaalde geurcomponenten. Olfactometrische analyses in dit onderzoek (Hobbs et al., 1997) toonden aan dat er significant hogere geurconcentraties geëmitteerd werden uit de mest van de dieren die het droge voeder en het 3/1 - water/voeder dieet toegediend kregen ten opzichte van de emissies uit de mest van de dieren met het 4/1 - water/voeder dieet. Waarden van deze geurconcentraties werden niet medegedeeld door de onderzoekers.

Door de verdunning van het voedsel bestaat er ook de mogelijkheid dat er een versnelling van de afbraak optreedt van de geurcomponenten of de precursors van de geproduceerde geurcomponenten (Hobbs et al, 1997). Mogelijke verklaring ligt hier in de lagere viscositeit van de mest. Biologische activiteit is meestal positief gerelateerd tot de substraatconcentratie, maar hoge viscositeit kan voor een beperking van nutriëntenbeschikbaarheid zorgen (Faust & Hunter, 1976).

Conclusie :

De invloed op de geuremissie door toevoeging van water aan het voeder blijft op basis van de bestaande literatuur onduidelijk.

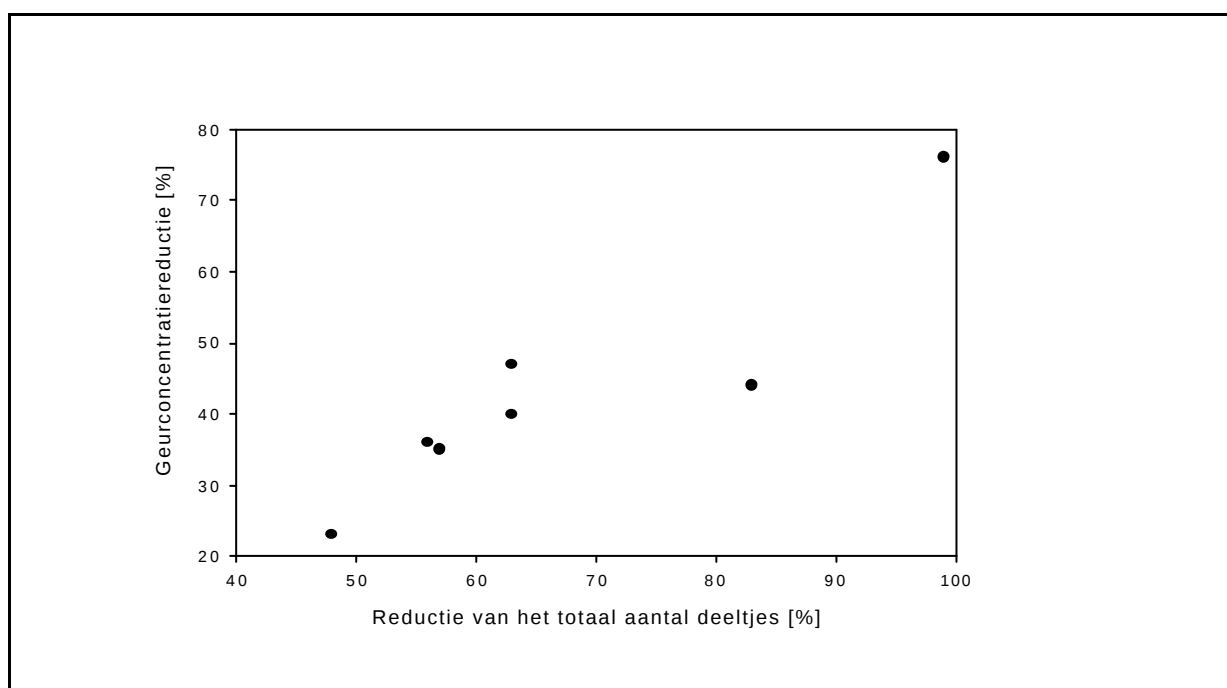
4.1.3 Zuivering van de stallucht

4.1.3.1 Ontstoffen van de geëmitteerde stallucht

Stof in de stallucht bestaat grotendeels uit organische verbindingen waarin dezelfde vluchtige vetzuren en fenolen voorkomen die ook in de lucht van varkensstallen aanwezig zijn, maar in het stof in veel grotere concentraties. Stofdeeltjes kunnen dus drager zijn van hinderlijke verbindingen. Het stof is afkomstig van de dieren zelf, van de mest, van het voeder (80 - 90 %) en, indien aanwezig, van het bodemstrooisel. Ontstopping van de geëmitteerde stallucht is mogelijk door gebruik te maken van stoffilters. Deze hebben wel als nadeel, dat ze zeer veel onderhoud vergen. De stofontwikkeling en dus mogelijk ook de geuremissie, kan verminderd worden door gebruik van natvoeding. (Neukermans & Colanbeen, 1990)

In een onderzoek van Hoff et al. (1997) werd de reductie van geurconcentraties in varkensstallucht bekeken in functie van het aantal verwijderde stofdeeltjes. Hiervoor werd een luchtstroom uit een varkensstal door een PVC-buis (d = 10 cm) geleid, waarop vooraan een filter werd geplaatst. Geurconcentraties en het aantal deeltjes werden voor en na de filter gemeten. Bepaling van de geurconcentraties gebeurde olfactometrisch. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in figuur 14.

Figuur 14. Geurconcentratiereductie i.f.v. reductie van het totaal aantal deeltjes in de lucht van een varkensstal (Hoff et al., 1997)



Uit figuur 14 blijkt dat naarmate er meer deeltjes uit de luchtstroom verwijderd worden, ook de geurconcentratie afneemt. Bij verwijdering van 99 % van alle stofdeeltjes werd er een geurconcentratiereductie van 75 % bereikt.

Hoff et al. (1997) onderzochten ook het gebruik van stoffilters, bestaande uit verkapte maïskolven en -stengels, op een varkensbedrijf. Eén opstelling bestond uit horizontaal geplaatste stoffilters (15 cm dik) waardoor de lucht geleid werd. In een andere opstelling werden de stoffilters (9 cm dik) verticaal in cascade geplaatst. Er werden geurconcentratiereducties gevonden van respectievelijk 61 - 93 % en 0 - 84 %.

Opmerking : informatie die in de publicatie van Hoff et al. (1997) wordt gegeven over de gebruikte olfactometer is zeer beperkt. De hoge reductiepercentages dienen dan ook met de nodige voorzichtigheid benaderd te worden.

4.1.3.2 Zuivering van de stallucht met een biofilter en biowasfilter

Zowel de biofilter als de biowasfilter steunen op het feit dat vele micro-organismen (hoofdzakelijk bacteriën) een verscheidenheid aan atmosferische polluenten kunnen afbreken. De verontreinigende componenten moeten uiteraard opgenomen (adsorptie - absorptie) kunnen worden én biologisch afbreekbaar zijn. Vanuit het werkingsmechanisme van deze biologische luchtzuiveringstechnieken, wordt er aan de afgasstroom ook enkele eisen gesteld met betrekking tot temperatuur, zuurtegraad en samenstelling. Andere belangrijke procesparameters bij het biodegradatieproces zijn o.a. de wateractiviteit, het gehalte aan voedingsstoffen, de zuurstofconcentratie en de verblijftijd in de biologisch actieve massa. (Colanbeen & Neukermans, 1992)

Een biofilter (ook biobed genoemd) maakt gebruik van een laag biologisch actief organisch materiaal, terwijl de biowasfilter vrijwel altijd een synthetisch dragermateriaal aanwendt.

Er dient gemeld dat luchtzuivering enkel toepasbaar is bij mechanisch geventileerde stallen. Bovendien vereist de hoge stofconcentratie in de ventilatielucht van stallen een stoffilter.

Ook moeten biofilters/biowasfilters steeds gedimensioneerd worden in overeenstemming met het maximale ventilatiedebiet tijdens zomeromstandigheden.

a) Biofilter

Als filtersubstraat voor biofilters zijn momenteel talrijke alternatieven voorhanden : turf, vezelturf, compost, houtschors, Deze materialen worden veelal vermengd met heidekruid, dennentakken en zelfs polystyreen en polypropyleenballetjes om het materiaal luchtig te houden. De selectie van het biofiltersubstraat gebeurt hoofdzakelijk op basis van de optredende drukverliezen, maar in de praktijk speelt de plaatselijke beschikbaarheid een even grote rol.

In figuur 15 wordt een doorsnede gegeven van een biofilteruitvoering aanpalend aan een stal. In tabel 26 wordt een overzicht gegeven van een aantal onderzoeken met betrekking tot de reductie van geurhinder door gebruik te maken van een biofilter op landbouwbedrijven.

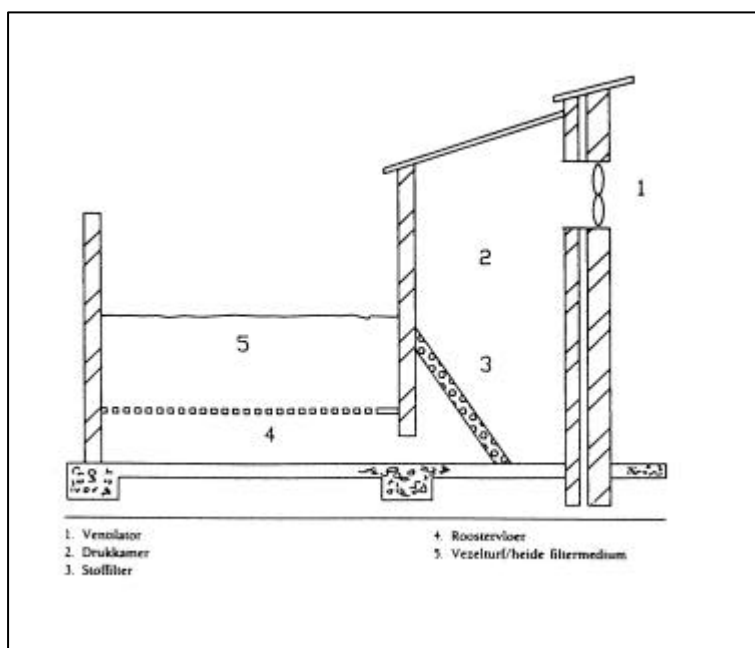
<i>Voordelen van de biofilter :</i>	<i>Nadelen van de biofilter :</i>
• Verregaande geurhinderreductie mogelijk ⁽¹⁾ • Eenvoudige constructie ⁽¹⁾ • Nutriëntsupplementatie is overbodig ⁽¹⁾ • Daar het biofiltersubstraat enkel uit natuurlijke materialen bestaat, kan het na gebruik als bodemverbeteraar aangewend worden ⁽¹⁾	• Enkel symptoombestrijder • Dure oplossing ^{(1),(3)} • Vaak technische problemen ⁽³⁾ • Gebruik van biofilter is arbeidsintensief ⁽¹⁾ • Bijzonder grote oppervlakte nodig (5.2 m² voor 300 kippen ⁽¹⁾; 25-40 m² voor 100 vleesvarkens ⁽²⁾) • Spuiwater zal o.a. nitraat, ammonium-N en eventueel nitriet bevatten ⁽³⁾ • Vulmateriaal dient na verloop van tijd (bv. vezelturf/heide mengsel : 22 maanden) vervangen te worden ⁽¹⁾ • Homogeen bevochtigen van de filter, teneinde het vochtgehalte op peil te houden, is niet eenvoudig ^{(1),(2)}

(1) : Colanbeen & Neukermans, 1992.

(2) : van Asseldonk & Voermans, 1989.

(3) : van de Sande-Schellekens & Backus, 1993b.

Figuur 15. Doorsnede van een biofilter



b) Biowasfilter

Bij de keuze van het vulmateriaal van een biowasfilter moet eveneens op verscheidene aspecten gelet worden zoals de kostprijs, drukverlies, reiniging, contactoppervlak lucht-waswater. Bij een biowasfilter komen gas en vloeistof beiden praktisch altijd als continue fase voor, waarbij de wasvloeistof de filter als een film doorstroomt. Een biowasfilter is dus niet geschikt voor slecht wateroplosbare componenten, terwijl in een biofilter zowel hydrofobe als hydrofiële verbindingen kunnen verwijderd worden. Als biowasfilter-filmdrager kunnen verschillende kunststofmaterialen als vulmaterialen fungeren, zoals allerlei polyurethaan schuimen. De vulmaterialen kunnen zowel hydrofiel als hydrofoob zijn en een pakking met zowel groot (2000 tot 4000 m²/m³) als klein (50 tot 100 m²/m³) specifiek oppervlak bezitten.

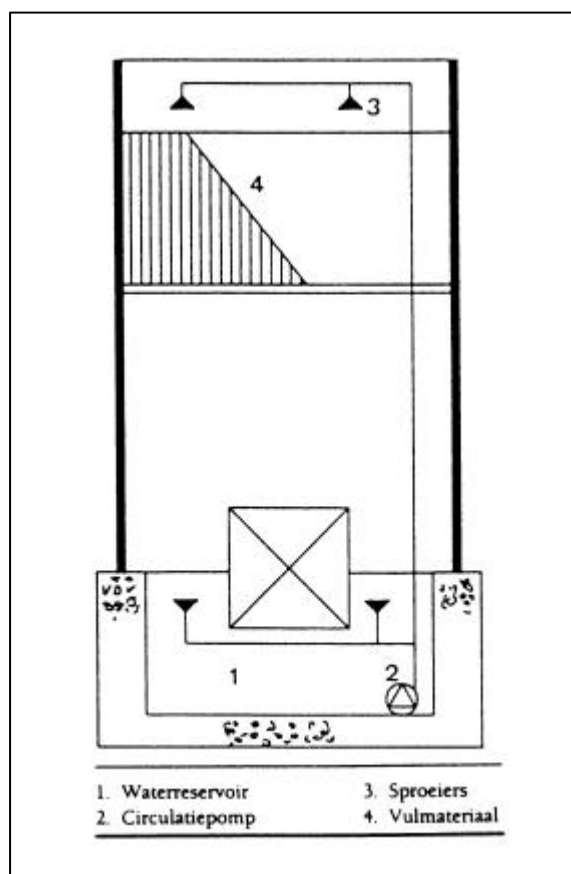
In figuur 16 wordt een doorsnede gegeven van een biowasfilter. In tabel 26 wordt een overzicht gegeven van een aantal onderzoeken met betrekking tot de reductie van geurhinder door gebruik te maken van een biowasfilter op landbouwbedrijven.

Voordelen van de biowasfilter :	Nadelen van de biowasfilter :
• Verregaande geurhinderreductie mogelijk ⁽¹⁾ • Compact en flexibel ⁽¹⁾ • Via vloeistofcircuit kunnen pH en temperatuur eenvoudig gestuurd worden ⁽¹⁾ • Synthetisch dragermateriaal heeft een lange levensduur ⁽¹⁾ • Kleiner drukverval dan het biobed ⁽¹⁾	• Enkel symptoombestrijder • Dure oplossing ^{(1),(2)} • Lange opstartperiode, ondanks enting met actief slib ⁽¹⁾ • Reiniging van synthetisch filtermateriaal is noodzakelijk ⁽¹⁾ • Spuiwater lost behoorlijke hoeveelheden ammonium, nitriet en nitraat ⁽¹⁾ • Afvoer van dagelijkse hoeveelheid (35 à 50 l) waswater. Waar moet dit waswater heen? ⁽¹⁾

(1) : Colanbeen & Neukermans, 1992.

(2) : Lais et al., 1997.

Figuur 16. Doorsnede van een biowasfilter



Tabel 26. Geurreducties bekomen door gebruik van een biofilter en een biowasfilter

Geurreducties behaald met een biofilter		
Onderzoekers	Behaalde reducties	Gebruikte methode ter bepaling van de veroorzaakte geurhinder
Young et al. (1997) - varkensstal	Geurintensiteit : 61 % Irritatie-intensiteit : 58 % Verbetering van de aangenaamheid van de geur : 84 %	Geurcomponenten laten adsorberen/absorberen op katoendoek. Panel geeft aan waargenomen geur een score voor de geurintensiteit, irritatie-intensiteit en aangenaamheid. Dit t.o.v. een referentie : een blanco katoendoek en 20 µl butaanzuur.
Colanbeen & Neukermans (1992) - vleeskippenstal	VVZ-reductie : 84 ± 14 % NH ₃ -reductie : 87 ± 14 % S-reductie : 100 ± 0 %	Chemische analyses. Door gebruik van de biofilter wordt de waargenomen geur sterk gereduceerd en verliest zijn typische kippenstalgeur. Er werd wel een grondgeur waargenomen na de biofiltratie. De grondgeur wordt vermoedelijk wel als aangenamer ervaren dan kippenstalgeur, toch is het zeker bij een geurwijziging gevaarlijk om zich te beperken tot de chemische analyse van een aantal geurproducerende componenten.
Geurreducties behaald met een biowasfilter		
Onderzoekers	Behaalde reducties	Gebruikte methode ter bepaling van de veroorzaakte geurhinder
Lais et al. (1997) - varkensstal	Geurconcentratie : Gem. : 61 - 89 %, min = -5.9 % (desorptie), max = 97 %	Metingen van de geurconcentraties gebeurden olfactometrisch volgens methoden die de huidige standaard benaderen.
Colanbeen & Neukermans (1992) - vleeskippenstal	VVZ-reductie : 80 ± 24 % NH ₃ -reductie : 76 ± 32 % S-reductie : 96 ± 3 %	
van Asseldonck & Voermans (1989) - varkensstal	Minimaal 75 %	Wijze waarop meting werd uitgevoerd, wordt door de onderzoekers niet vermeld.

Conclusie :

Uit het beperkte onderzoek dat rond het gebruik van stoffilters als geurreductietechniek werd uitgevoerd, blijkt dat deze mogelijk een positieve invloed hebben bij de beperking van geuremissies.

Biofilters en biowasfilters blijken over het algemeen een reductie van de geuremissies mogelijk te maken. Beide technieken zijn echter wel duur.

4.1.4 Toepassen van het verdunningseffect

Gezien de hinderlijkheid van de geurcomponenten afhankelijk is van de concentratie ervan, kan de geurhinder rond landbouwbedrijven mogelijk beperkt worden door een verdunning van de ventilatielucht met verse buitenlucht. Dit kan door plaatsing van hoge trekschouwen, ventilatiekokers of door groenbeplanting.

4.1.4.1 Hoge trekschouwen

Verhoging van het emissiepunt tot 10 à 12 m, door plaatsing van hoge trekschouwen, kan op korte afstanden een aanzienlijke concentratieverlaging opleveren. Om tot op 100 à 150 m een duidelijke verlaging van de concentratie te hebben, moet de emissiehoogte 12 à 15 m bedragen. Op afstanden groter dan 200 m is van een dergelijke verhoging slechts weinig effect te verwachten (Harssema, 1980). Bij inversieverschijnselen, dit is wanneer de lucht in de onderste luchtlagen kouder is dan in bovenliggende lagen, zal de uit de trekschouw geëmitteerde lucht op een veel geringere afstand van de schoorsteen terechtkomen en aldus toch geurhinder kunnen veroorzaken (Neukermans & Colanbeen, 1990).

Voor hoge schoorstenen zijn veelal aanzienlijke investeringen vereist. Deze zijn onder andere afhankelijk van de hoogte van de schoorsteen, de hoeveelheid af te voeren ventilatielucht, het toegepaste ventilatiesysteem en het al dan niet aanwezig zijn van één centrale afvoer per stal (van Geelen & van der Hoek, 1982).

Plaatsing van hoge trekschouwen zal ook gevolgen hebben voor het aanzicht van het landschap. Vanuit esthetisch oogpunt zullen omwonenden hoge trekschouwen ook als onaangenaam ervaren.

4.1.4.2 Verdunning van ventilatielucht met een hoeveelheid verse lucht

Een verdunning van de ventilatielucht met een hoeveelheid verse lucht door middel van een bijkomende ventilator, verlaagt de concentratie aan geurcomponenten. De hoeveelheid geurcomponenten die geëmitteerd worden blijft wel gelijk.

Andere oplossingen zoals de milieukoker en de luchtversneller, hebben hetzelfde oogmerk van verdunning van ventilatielucht met zuivere lucht, maar dan zonder de drijvende werking van een bijkomende ventilator (Neukermans & Colanbeen, 1990).

De luchtversneller is gebaseerd op een betere uitworp gecombineerd met een betere menging van stallucht met buitenlucht. Bij dit systeem is de koker waarin de ventilator aangebracht is, conisch uitgevoerd. Door de vernauwing die hierdoor ontstaat, wordt een hogere luchtsnelheid verkregen. Het effect op de uitworp zou echter betrekkelijk gering zijn. Ook de tweede koker die om de eigenlijke koker is aangebracht heeft geen positieve invloed op de uitworp, omdat deze de inductie (aanzuigen van buitenlucht) eerder belemmert dan bevordert. Het voordeel van deze koker is dat er minder regeninslag optreedt. Het zelfde kan worden gezegd van de milieukoker. De tweede concentrische koker rond de eigenlijke ventilatiekoker bevordert noch de inductie noch de uitworp. Deze zou zelfs de uitworp verkleinene, door een geringere luchtsnelheid aan het einde van de buitenste koker. De buitenste koker dient dan ook uitsluitend om te veel regeninslag te voorkomen. (van Geelen & van der Hoek, 1982)

4.1.4.3 Groenbeplanting

Voor betrekkelijk lage afvoerkokers zou een hoge beplanting rond het bedrijf een positieve invloed hebben op het verspreidingspatroon van de ventilatielucht (Neukermans & Colanbeen, 1990; Odor Control task Force, 1998).

Conclusie :

Over de beperking van geurhinder door toepassing van het verdunningseffect zijn geen kwantitatieve meetresultaten beschikbaar. Mogelijke reducties van de geurhinder, berusten hier dan ook vaak op subjectieve waarnemingen.

Uit de beperkt beschikbare literatuur blijkt het effect op de geurreductie bij gebruik van hoge schoorstenen eerder beperkt. Ook vanuit esthetisch oogpunt is deze techniek minder aangeraden.

Het effect op de geurreductie bij gebruik van een milieukoker en luchtversneller blijft op basis van bestaande literatuur onduidelijk.

Mogelijk zorgt een hoge beplanting rond een bedrijf met lage afvoerkokers voor een beperking van de geurverspreiding. Praktijkervaring leert dat deze effecten zeer moeilijk kwantitatief in te schatten zijn.

4.2 Geuremissiebeperking bij opslag van mest op landbouwbedrijven

4.2.1 Scheiding en beluchting van de mest

a) Scheiding van de vloeibare en vaste mestfractie

De mogelijkheid bestaat om de mest te scheiden in een vloeibare en een vaste fractie, alvorens de mest te beluchten. Na scheiding is het de vloeibare fractie die belucht wordt. Mogelijkheden voor mestscheiding zijn sedimentatie, zeven, centrifugeren of persen. Sedimentatie, zeven en centrifugeren wordt meestal gebruikt als een eerste scheiding. De vaste fractie bekomen na sedimentatie, zeven en centrifugeren bevat nog een hoog vochtgehalte (meer dan 70 %) en dient verder ontwaterd te worden voor verder gebruik als bv. compost. Indien de vaste mestfractie met dergelijke vochtgehaltes (> 70 %) bewaard wordt, zullen er anaërobe afbraakprocessen plaatsvinden en zal er geurhinder ontstaan. Persen kunnen gebruikt worden om de vaste mestfractie verder te ontwateren.

Mogelijke geurhinder veroorzaakt door de dunne fractie is afhankelijk van de resterende hoeveelheid organische componenten die zich hierin nog bevinden. Fijne partikels in de mest breken sneller af dan grove partikels. Het is ook in de fijne partikels dat zich de meeste koolstofverbindingen, proteïnen en nutriënten (hoofdzakelijk N en P) bevinden. Aangezien deze componenten de precursoren zijn van hinderlijke verbindingen, zal de mestscheiding zodanig ontworpen dienen te worden dat de fijne partikels (minstens tot 0.250 mm), maar ook de ruwere partikels verwijderd worden. Dit om geurproductie in de verdere mestbehandeling en/of opslag te beperken. (Zhang & Westermann, 1997)

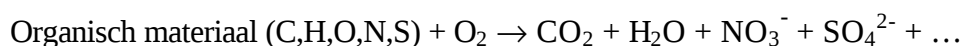
Kwantitatieve informatie over fundamenteel onderzoek naar beperking van geuremissies door scheiding van de vloeibare en vaste mestfractie ontbreekt. Door Pain et al. (1991) werd wel een geuremissiereductie van 20 tot 30 % gevonden bij het uitrijden van niet-beluchte gescheiden mest en een geuremissiereductie van 55 % bij het uitrijden gescheiden mest die belucht werd.

a) Beluchting van de mest

Mest wordt tijdens de opslag op natuurlijke wijze afgebroken. Deze afbraak van de mest wordt veroorzaakt door de metabolische afbraakprocessen van micro-organismen. Aangezien de beschikbare zuurstof snel verbruikt wordt door de hoge zuurstofbehoeften van de afbraak van de organische componenten, zal het afbraakproces verder anaëroob verlopen en zullen er verschillende geurstoffen en vluchtige componenten gevormd worden. (Westermann & Zhang, 1997)

Door zuurstoftoevoeging aan de mest kan het milieu waarin de afbraak plaatsvindt aëroob gehouden worden. Dit kan de productie van hinderlijke geuren verminderen. Het grote nadeel van een aërobe mestbehandeling is de hoge energiekost, noodzakelijk om de mest voldoende te beluchten. (Westermann & Zhang, 1997)

Biodegradeerbaar organisch materiaal zoals mest kan door aërobe bacteriën geoxideerd worden tot stabiele anorganische eindproducten. Het oxidatieproces kan schematisch als volgt voorgesteld worden :



Onder aërobe condities worden de N-componenten (proteïnen, peptiden en aminozuren) omgezet tot ammonium (NH_4^+) door heterotrofe bacteriën (bacteriën die organisch materiaal als voedsel gebruiken). Dit ammonium wordt geoxideerd door autotrofe bacteriën (bacteriën die anorganisch materiaal als voedsel gebruiken) tot nitriet (NO_2^-) en vervolgens tot nitraat (NO_3^-). De S-componenten in de mest, zoals S-bevattende proteïnen, worden in de aërobe omgeving omgezet tot sulfaat (SO_4^{2-}). In de anaërobe omgeving worden deze S-componenten omgezet tot geurhinderlijke componenten zoals sulfiden en mercaptanen.

Wanneer er gestopt wordt met beluchten van de mest en de opgeloste zuurstof opgebruikt is, ontstaat er in de mest een anoxisch milieu. In dit milieu wordt door de facultatieve bacteriën nitraat en sulfaat gebruikt als electronen-acceptor en gereduceerd tot respectievelijk stikstofgas (N_2) en waterstofsulfide (H_2S).

Het proces waarbij ammonium geoxideerd wordt tot nitraat is de nitrificatie, het proces dat het nitraat omzet in stikstofgas wordt de denitrificatie genoemd. Door de combinatie van de nitrificatie en de denitrificatie kan stikstof uit de mest verwijderd worden.

In volgende paragrafen zullen er een aantal relevante onderzoeken beschreven worden met betrekking tot geurreductie door beluchting van de mest.

Aërobe mestbehandeling op een varkensbedrijf (Burton et al., 1998)

Het onderzoek werd door Burton et al. (1998) uitgevoerd op een bedrijf met 2000 varkens. De dunne mestfractie werd belucht, na een voorafgaande scheiding van de grove mestfractie. Er werden drie behandelingen toegepast, waarbij met een verschillende hydraulische retentietijd in het beluchtingsbekken werd gewerkt (1.7, 2.4 en 6.3 dagen, respectievelijk voor experimenten A, B en C). Telkens werd er 15 l mest van de onbehandelde en van de beluchte mest in roestvrij stalen bakken geplaatst. Dit onder een halve-buisvormige tunnel, waarin een luchtstroom (1 m/s) werd geïnduceerd. Onmiddellijk na plaatsing van de mest in de bak werden er in de luchtstroom luchtmonsters genomen in 60 l Teflonzakken bestemd voor olfactometrische analyse. In experiment B werden er nog extra hoeveelheden mest genomen, die anaëroob bewaard werd bij 10 °C en die na 14 en 28 dagen olfactometrisch geanalyseerd werden. De resultaten van dit onderzoek worden weergegeven in tabel 27.

In dit onderzoek werd ook gekeken naar de hinderlijkheid van de geur. Om de mate waarin de geur hinderlijk was te meten, werd er mest in kleine potjes gebracht. De dekseltjes werden verwijderd 5 minuten vooraleer de potjes werden blootgesteld aan een panel. Aan elk potje werd door de panelleden een score gegeven van 0 tot en met 5, gaande van een niet hinderlijke geur (0) tot en met een zeer sterk hinderlijke geur (5). Resultaten van deze experimenten zijn weergegeven in tabel 28.

Tabel 27. Geurconcentraties voor onbehandelde, beluchte en anaëroob bewaarde varkensmest.

Experi- ment	Behandelings- tijd [d]	Anaërobe bewaring [d]	Geurconc. [ge/m ³]	95% betrouw- baarheidsinterv .	Reductie geurconc. t.o.v. onbehandelde mest [%]
A	Onbehandeld	0	111	60-330	
	1.7	0	24	18-40	78
B1	Onbehandeld	0	177	110-360	
	2.4	0	70	40-170	60
B2	Onbehandeld	14	239	190-400	
	2.4	14	65	24-150	73
B3	Onbehandeld	28	163	110-280	
	2.4	28	88	14-170	46
C	Onbehandeld	0	57	27-100	
	6.3	0	55	40-190	4

Tabel 28. Gemiddelde scores (0 = geen hinder; 5 = zeer sterk hinderlijk) van geurhinderlijkheid van mest.

Experiment	Behandeling	Gemiddelde geurhinderlijkheid score
A	Onbehandeld	4.0
	Belucht	2.8
B1	Onbehandeld	4.7
	Belucht	3.7
B2	Onbehandeld	3.6
	Belucht	3.0
C	Onbehandeld	3.8
	Belucht	1.8

Uit tabel 28 blijkt dat de reductie van geurconcentraties uit mest gedurende een aërobe behandeling tussen de 46 en 78 % ligt, uitgezonderd in het experiment (C) met de langste beluchtingstijd. Deze lage geurconcentratiereductie (4%) in experiment C is volgens de onderzoekers te wijten aan de lage geurconcentratie van de onbehandelde mest in dit experiment (57 ge/m^3). Mogelijk zijn hier fouten opgetreden bij de monsternamen en/of analyse van het luchtmonster.

Er wordt ook vastgesteld dat er nagenoeg geen regeneratie optreedt van geurcomponenten bij (anaërobe) bewaring van de beluchte mest (zie experimenten B2 en B3 in tabel 28). De grootste reductie van de hinderlijkheid van de geur wordt gevonden bij de langste beluchtingsperiode (zie tabel 28).

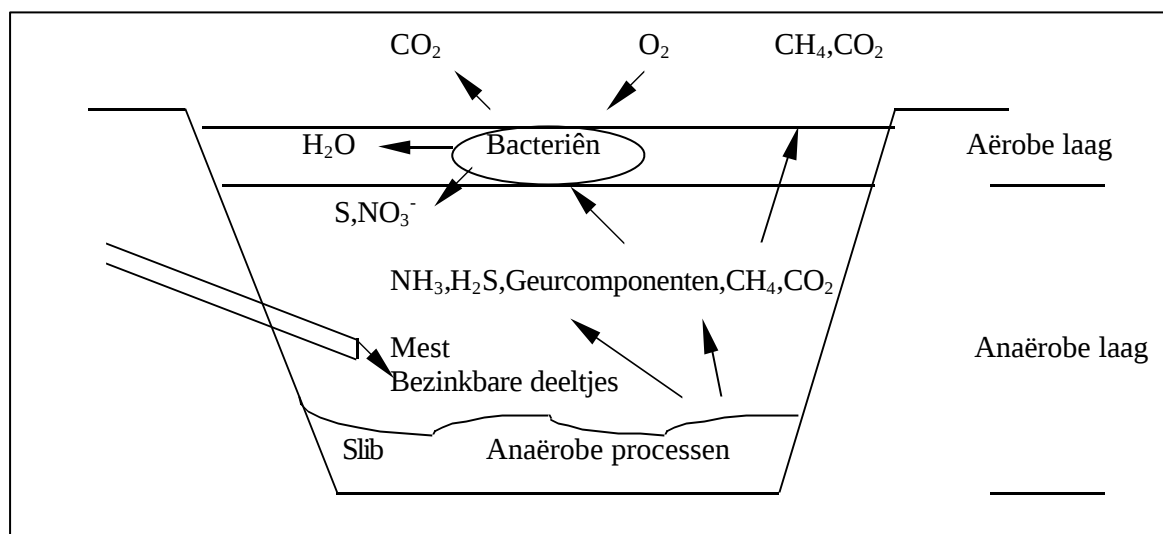
Uit het onderzoek van Burton et al. (1998) kan besloten worden dat een reductie van de geurconcentraties en hinderlijkheid kan bekomen worden door de dunne fractie van de mest te beluchten. De resultaten van de reductie van de geurhinderlijkheid dienen met de nodige voorzichtigheid bekeken te worden. Dit wegens het subjectieve en weinig gestandaardiseerde karakter van de metingen.

Oppervlaktebeluchting van een anaërobe varkensmestopslagplaats op laboschaal (Zhang et al., 1997).

Oppervlakte-beluchting van een mestopslagplaats is een manier om de emissie van geurcomponenten uit deze anaërobe mestputten te beperken. Een dergelijk systeem maakt gebruik van zowel de aërobe als de anaërobe afbraakprocessen

zorgen voor de afbraak en stabilisatie van het influent op de bodem van het bekken, terwijl de aërobe afbraakprocessen zorgen voor een beperking van de geuremissies uit het bekken. De aërobe laag fungeert als een biologische afdeklaag bovenop de anaërobe omgeving waar de geurcomponenten gevormd worden (zie fig. 17).

Figuur 17. Oppervlakte-beluchting van een anaërobe mestopslagplaats



De metingen werden door Zhang et al. (1997) op laboschaal gehouden. Er werd gewerkt met 4 cylinders (hoogte = 183 cm, diameter = 15 cm en vulhoogte mest = 168 cm), waarvan er één niet belucht werd. Verschillende experimenten werden gehouden waarbij telkens de beluchtingsdiepte en/of opgeloste zuurstofconcentratie in de beluchte laag werd aangepast (zie tabel 29).

Uit tabel 29 blijkt dat bij een beluchtingsdiepte van 30 cm, het voldoende is om de opgeloste zuurstofconcentratie in de toplaag op 0.5 mg/l te houden. Zo kon de emissie van geurcomponenten beperkt worden, maar er werd wel een stijging van de ammoniakconcentraties waargenomen. Deze stijging is te wijten aan een toename van de pH in de beluchte mestlaag. Uit tabel 29 kan ook afgeleid worden dat de beluchtingsdiepte geen invloed heeft (minimaal 15 cm) als de opgeloste zuurstofconcentratie op 0.5 mg/l wordt gehouden.

Door Zhang et al. (1997) werd ook de invloed nagegaan indien er een periode niet belucht werd. Onder deze condities werd waargenomen dat geurcomponenten uit de onderliggende laag door de geaëreerde laag ontsnapten. Naarmate de beluchtingsduur en -diepte toenam, werd er een langere geurvrije periode waargenomen.

Tabel 29. Invloed van beluchtingsdiepte en -hoeveelheid op reductie van geurconcentratie van varkensmestmest.

Invloed van beluchtingshoeveelheid op reductie van geurconcentratie					
Cylinder	B-d ⁽¹⁾ [cm]	OZ ⁽²⁾ [mg/l]	NH ₃ [ppm]	pH ⁽³⁾	Geurconcentratie [ge/m ³]
1	0	0.0	10	7.72	1200
2	30	0.5	40	8.27	34
3	30	1.5	43	8.27	36
4	30	2.5	46	8.37	38
Invloed van beluchtingsdiepte op reductie van geurconcentratie					
Cylinder	B-d ⁽¹⁾ [cm]	OZ ⁽²⁾ [mg/l]			
1	0	0.0			
2	15	0.5			
3	30	0.5			
4	45	0.5			

(1) B-d : beluchtingsdiepte

(2) OZ : opgeloste zuurstofconcentratie

(3) pH : pH gemeten bovenaan in kolom

Uit dit onderzoek blijkt dat het mogelijk is geuremissies uit mestopslagplaatsen te reduceren door oppervlakte-beluchting. Verhoogde ammoniak-emissies die hierbij ontstaan dienen vermeden te worden, waardoor deze techniek echter minder toepasbaar wordt. Ook de hoge reducties van de geurconcentraties ($\pm 97\%$) die hier op laboschaal bereikt werden, zullen vermoedelijk op praktijkschaal moeilijk bereikt kunnen worden.

Overzicht van andere onderzoeken naar beluchting van mest met betrekking tot reductie van geurconcentraties op landbouwbedrijven

In tabel 30 wordt een overzicht gegeven van een aantal onderzoeken naar reductie van geurconcentraties door toepassing van mestbeluchting. Van deze onderzoeken zijn de metingen van de geurconcentraties mogelijk minder betrouwbaar, dit omwille van de onduidelijke omschrijving van de beluchtingswijze en geen of beperkt gebruik van de huidige standardisatie in de olfactometrie. In tabel 30 worden dan ook enkel richtwaarden van mogelijke geurreducties weergegeven.

Tabel 30. Overzicht van andere onderzoeken naar beluchting van mest met betrekking tot reductie van geurconcentraties op landbouwbedrijven.

	Beschrijving van onderzoek	Mogelijke geurreductie t.o.v. controle	Opmerking
Zhu, 1998.	Mestbeluchting op laboschaal door 2x per dag 10/50 ppm H ₂ O ₂ aan mest in cylinder (h:183cm;d=38cm) toe te voegen.	Tot 65 %	H ₂ O ₂ verhoogde de opgeloste zuurstofconc. in vloeibare mest, maar kon geen 'stabiele' aërobe zone creëren voor de groei van aërobe bacteriën. Geurreductie mogelijk veroorzaakt door directe oxidatie van de organische geurcomponenten door het H ₂ O ₂ .
Debruyckere et al., 1993.	Beluchting van vloeibare fractie in beluchtingsbekken na voorafgaande scheiding van de vaste fractie.	Geen geurhinder waargenomen bij verdere bewaring en uitspreiding van de mest	Geurmeting gebeurde ter plaatse a.h.v. subjectieve waarnemingen door de onderzoekers.
Pain & Misselbrook, 1991.	Geuremissiemeting na uitrijden van beluchte en niet-beluchte mest.	50 - 70 %	Er werden nagenoeg geen gegevens weergegeven over de gebruikte beluchtingstechniek. Geurconcentratiemeting gebeurde wel olfactometrisch via methodes die de huidige standards benaderen.
Riskowski et al., 1991.	Varkensmest werd in tonnen geplaatst en belucht. Evaluatie van geurhinder van beluchte en niet-beluchte mest gebeurde door panelleden. (Schaal van 1-9, met als referentie: 1 = geurvrij water & 7 = onbehandelde mest).	36 %	Geurreductie gebeurde a.h.v. een sensorisch olfactometrische methode, die sterk afwijkt van de huidige standaard.
Neukermans & Colanbeen, 1990.	Beluchting van varkensmest rechtstreeks onder roostervloer van stal.	73 - 75 %	Geurconcentraties werden olfactometrisch bepaald. Hoe dit in zijn werk ging werd niet beschreven.
	Uitrijden van beluchte en niet-beluchte mest.	97 - 98 %	
	Spoelmestsysteem in leghennenstal : scheiding van vloeibare en vaste fractie, waarna vloeibare fractie belucht werd.	Geen geurhinder waargenomen bij verdere bewaring en uitspreiding van de mest	Geurmeting gebeurde ter plaatse a.h.v. subjectieve waarnemingen door de onderzoekers.

Conclusie :

Een groot voordeel van mestbeluchting is dat geurhinder zowel tijdens de opslag als tijdens het uitrijden gereduceerd wordt. Reducties van geurconcentraties van 50 - 75 % bij de mest opslag en 50 - 70 % bij het uitrijden zijn praktisch realiseerbaar. Nadelen zijn echter de hoge kostprijs.

In 1993 bedroegen de kosten voor aërobe stabilisatie en ontgeuring van varkensmest :

- investering :
 - 5.000 BEF/kraamhok
 - 1.400 BEF/vleesvarkensplaats
- totale werkingskosten (afschrijving, interest, energieverbruik):
 - ca. 60 BEF/afgeleverde big (20 kg)
 - ca. 250 BEF/afgeleverd vleesvarken

Beluchting die zich beperkt tot de toplaag van de mest lijkt dit euvel niet te kunnen verhelpen. Ook toenemende ammoniakemissies bij oppervlaktebeluchting, door stijgende pH in de toplaag van de mest, dienen vermeden te worden. Schuimvorming, die vaak wordt aangehaald als nadeel, kan vermeden/beperkt worden door schuimbrekers bovenaan het beluchtingsbekken te plaatsen.

4.2.2 Toevoeging van additieven aan de mest

Een eenvoudige techniek die mogelijk leidt tot een reductie van geurconcentraties op landbouwbedrijven, is het toevoegen van additieven aan de mest.

Er kunnen vijf grote groepen mestadditieven worden onderscheiden, nl. 1) producten met een sterke eigen geur, die de stankcomponenten maskeren; 2) neutraliserende componenten, die ervoor zorgen dat het geheel minder intens ruikt dan de geurcomponenten; 3) bacteriën of enzymen die via biochemische (metabolische) afbraakprocessen de geurcomponenten afbreken; 4) adsorbentia, die de geurcomponenten adsorberen vooraleer ze kunnen

ontsnappen in de omgeving; 5) sterk oxiderende of kiemdodende deoderanten, die de microbiële activiteit tenietdoen, verantwoordelijk voor productie van hinderlijke geuren.

Patni & Jui (1993) hebben 7 additieven getest op de beperking van geuremissies, nl. 5 commercieel beschikbare additieven, één chemisch (watersofcyanamide) en één organisch (sphagnum turf) additief. Over het algemeen gaf het gebruik van deze additieven slechts een kleine positieve bijdrage. Hoewel het waterstofcyanamide de productie van H_2S kan beperken en de NH_3 -productie beperkt wordt door turf aan de mest toe te voegen, waren deze additieven niet in staat om de hinderlijke geur van de mest te beperken. Het gebruik van turf als mestadditief zorgt ook nog voor een kostentoeename om de mest weg te pompen.

Amon et al. (1995) hebben het gebruik van De-Odorase[®], een commercieel beschikbaar mestadditief, uitgetest voor de beperking van geur- en ammoniakemissies op intensieve varkenshouderijen. De-Odorase[®] is, volgens de fabrikant, een samenstelling van geselecteerde glycocomponenten van de *Yucca shidigera* plant. Deze componenten zouden ammoniak en andere vervelende geuren binden, zodanig dat ze niet meer uit de mest vervluchtigen. De-Odorase[®] wordt zowel aan het voeder, als aan de mest toegevoegd. Uit het onderzoek van Amon et al. (1995) bleek dat er geen significante vermindering van de geurconcentratie en geuremissie optrad bij gebruik van De-Odorase[®]. Ook nog door andere onderzoekers (Al-Kanani et al., 1992) werden weinig hoopgevende resultaten gevonden voor het gebruik van mestadditieven.

Recentelijker evalueerden Zhu et al. (1997) vijf mestadditieven en vonden hier wel een aantal interessante resultaten. De mestadditieven bestonden uit chemische, enzymatische en bacteriële producten (zie tabel 31). Het onderzoek werd uitgevoerd op laboschaal, waarbij de mestputten gesimuleerd werden door cylinders ($h = 122$ cm; $d = 38$ cm; mesthoogte = 92 cm). De luchtmonsters werden genomen boven het mestoppervlak, waar een luchtstroom van 14 l/min heerste. De luchtmonsters werden olfactometrisch geanalyseerd.

Tabel 31. Geteste mestadditieven door Zhu et al. (1997).

Product-naam	Type	Functie	Geurconcentratie [ge/m ³]	Reductie van geurconcentratie t.o.v. controle [%]
MPC	Chemisch emulgator	Helpt geurproducerende bacteriën te verwijderen	223 ± 57.5	84
Bio-Safe	Enzymen en micro-organismen	Stimuleert bacteriën die geurcomponenten afbreken	254 ± 104.2	83
Shac	Natuurlijk kool(cokes)-product {enzymen}	Bevordert de biologische en chemische processen die geur verminderen	245 ± 78.7	83
X- Stink (LFI)	Aërobe bacterie	Breekt vluchtige organische componenten af	191 ± 66.6	87
CPPD	Chemisch oxydeermiddel	Zorgt voor een zuurstoftoename in de vloeibare mest ter ondersteuning van de bacteriële activiteit	625 ± 106.4	58
Controle	-	-	1488	-

De eerste 4 produkten in tabel 31 zorgden voor een reductie van 83 tot 87 % van de geurconcentratie van de mest behandeld met de additieven t.o.v. de niet behandelde mest. Het product CPPD zorgde voor een geurconcentratiereductie van 58%.

Dit onderzoek van Zhu et al. (1997) toont aan dat er mogelijkheden zijn om geurhinder uit mestopslagplaatsen te beperken door gebruik van mestadditieven. Het groter aantal onderzoeken waar het gebruik van mestadditieven niet voor een verlaging van de geurconcentratie zorgt, wijst er op dat zeker niet alle mestadditieven tot een geurreductie zullen leiden.

Om doeltreffende mestadditieven te ontwikkelen dient er nauwkeurig geweten te zijn welke componenten in de mest verantwoordelijk zijn voor de veroorzaakte geurhinder. Reeds eerder is er gewezen op het groot aantal componenten die mogelijk bijdragen tot geurhinder op

landbouwbedrijven. Bijkomend fundamenteel onderzoek naar de identificatie, het ontstaan en de bestrijding van de geurhinderlijke componenten, lijkt dan ook noodzakelijk voor de verdere ontwikkeling van efficiënte mestadditieven.

Hierbij kan nog opgemerkt worden dat toevoeging van aërobe micro-organismen niet voor een blijvende verhoging van het aantal aërobe micro-organismen zorgt (Zhu, 1998). Bourque et al. (1987) verklaren dit door het feit dat geïnoculeerde micro-organismen in niet-gesteriliseerde varkensmest niet dominant kunnen worden op de aanwezige flora.

Conclusie :

Over het algemeen worden er weinig hoopgevende resultaten gevonden voor het gebruik van mestadditieven als geurreductietechniek bij mestopslag.

Slechts in één onderzoek op laboschaal werden geurreducties vastgesteld na toevoeging van mestadditieven aan mestputten. Het groter aantal onderzoeken waar het gebruik van mestadditieven niet voor een verlaging van de geurconcentratie zorgt, wijst er op dat zeker niet alle mestadditieven tot een geurreductie zullen leiden.

4.2.3 Afdekken van mestopslagplaatsen

Onvoldoende mestopslag onder de stal of systemen waarbij de mest regelmatig uit de stallen wordt verwijderd, veronderstellen een mestopslag naast de stal. Deze mestopslagplaatsen zijn meestal betonnen/stalen mestsilo's of aarden opslagbekkens. Geurhinder veroorzaakt door deze mestopslagplaatsen kan bestreden worden door de opslagplaatsen af te dekken. De afdekkingen dienen eenvoudig te installeren en onderhouden zijn, en een volledige mestverwijdering uit de opslagplaats dient mogelijk te blijven.

Volgende afdekkingsmethoden werden onderzocht :

-
- Tent : dit is een opbouwconstructie, die inregenen efficiënt voorkomt. Door De Bode (1991) werden geurconcentratiereducties van 15 tot 35 % voor varkensmest en van 42 tot 72 % voor rundveemest gevonden, beiden respectievelijk voor een winter- en een zomerperiode. De metingen in het onderzoek van De Bode (1991) gebeurden olfactometrisch, waarbij de luchtmonsters met een Lindvall-doos boven ‘proef’-mestbekkens (hoogte : 2 m en diameter : 1.9 m) werden genomen. Een minimum aan uitwisseling tussen buitenlucht en ingesloten lucht onder de afdekking wordt bekomen door gebruikt te maken van een gesloten constructie. Zhang & Gaakeer (1998) onderzochten het gebruik van een opblaasbaar zeil, waarbij onder het zeil lucht wordt ingeblazen. Dit zodanig dat het onafhankelijk van de heersende windcondities steeds bol blijft staan. In dit onderzoek, uitgevoerd op een betonnen mestbekken met een diameter van 23 m, bleef het ontsnappen van lucht uit het opblaasbaar zeil beperkt tot 60 l/s. Door de onderzoekers werd rond de volledige omtrek op 1 m afstand geen geur waargenomen. Het onderhoud van de installatie was zeer beperkt en mestverwijdering uit het bekken gebeurde op de zelfde manier als voor de plaatsing van het afdekzeil.
 - Golfplaten : dit is eveneens een opbouwconstructie, die inregenen doeltreffend zal voorkomen. De constructie is echter minder luchtdicht dan de tent. Door De Bode (1991) werden geurconcentratiereducties van 28 tot 50 % voor varkensmest en van 15 tot 28 % voor rundveemest gevonden, telkens respectievelijk voor een winter- en een zomerperiode.
 - Drijvende folie : dit is een drijvende afdekkingsmethode die ook als voordeel heeft dat het regenwater, bij goede behandeling, niet met de mest vermengt. Door De Bode (1991) werden geurconcentratiereducties van 0 tot 28 % voor varkensmest en van 41 tot 43 % voor rundveemest gevonden, telkens respectievelijk voor een winter- en een zomerperiode. Nadeel van deze uit één stuk gemaakte afdekfolie is dat ze moeilijk te gebruiken is bij wijzigingen gedurende het jaar van het mestniveau in het bekken (Zhang & Gaakeer, 1998).
 - Polystyreenschuim : deze drijvende afdekkingsmethode heeft als voordeel dat ze gemakkelijk en goedkoop aan te leggen is. Een nadeel is echter dat de mest met regenwater wordt verdund. Door De Bode (1991) werden geurconcentratiereducties van

10 tot 40 % voor varkensmest en van 16 tot 39 % voor rundveemest gevonden, telkens respectievelijk voor een winter- en een zomerperiode.

➤ Gebruik van organische en anorganische drijvende afdekkingsmaterialen :

Door Bundy et al. (1997) werden een aantal organische en anorganische materialen getest als afdekking voor mestbekkens. Sommige van deze materialen blijken echter maar een beperkte gebruiksduur te hebben. De proeven werden uitgevoerd in stalen mestbekkens (hoogte : 1.22 m en diameter : 1.83 m) gevuld met varkensmest. Geurconcentratiereductie werd olfactometrisch bepaald ten op zichte van een controle-mestbekken. Volgende materialen werden uitgetest :

- *Stro* : een strolaag van 25 cm zorgde voor geurconcentratiereducties tot ± 90 % en dit gedurende de meetperiode van 9 weken. Na verloop van tijd zonk het stro naar de bodem en diende het mechanisch verwijderd te worden.
- *Mengsel van maïsbladeren, -stengels en -kolven* : een maïslaag van 15 tot 25 cm zorgde voor geurconcentratiereducties van 66 tot ± 90 % gedurende een meetperiode van 8 weken. Verrotting van de nat wordende maïs, zorgde voor een accumulatie van vliegen rond het mestbekken. Net als het stro, bezonk ook de maïs en diende deze mechanisch verwijderd te worden.
- *Steentjes met lage densiteit* : het gebruikte materiaal in dit onderzoek bestond uit klei, waarop een ondoordringbare laag was aangebracht. De steentjes hadden een soortelijk gewicht van 0.3 tot 0.4 en diameters van 0.63 tot 1.9 cm. Laagdikten van 4 tot 15 cm werden toegepast. Deze steentjes bleken de geuremissies zeer goed te beperken (> 90 %) en bezonken niet tijdens de winter na de meetperiode in de zomer. Nadeel is wel dat dit materiaal vrij duur is (150 tot 180 \$ / m³).
- *Schuimlaag* : hiervoor werd de mest belucht zodanig dat er op het mestoppervlak een schuimlaag ontstond met een voldoende sterke oppervlaktespanning, zodanig dat deze bestend was tegen wind- en regeneffecten. Er werd om de drie dagen gedurende 5 minuten belucht. Geurconcentratiereducties van meer dan 90 % werden gevonden.

In tabel 32 wordt een overzicht gegeven van deze verschillende afdekkingsmethoden. Doorheen de afdekkingsmaterialen is slechts een beperkte evaporatie mogelijk. Extra opslagcapaciteit is dan ook noodzakelijk bij deze afdekkingsmethoden waarbij de regen in het bekken kan vallen. De lagere geurconcentratiereducties in het onderzoek van De Bode

(1991), alsook de sterke spreiding van deze geurconcentratiereducties, worden door de onderzoeker verklaard door de reeds lage geurconcentraties van de niet-afgedekte mestopslagplaatsen. Geurconcentraties die als referentie in dit onderzoek werden gebruikt varieerden van 60 ge/m³ voor rundveemest in de winter tot 200 ge/m³ voor varkensmest in de zomer. Geurconcentraties van niet-afgedekte mestopslagplaatsen in het onderzoek van Bundy et al. (1997) lagen in de grootte-orde van 1500 ge/m³. De verschillende geurconcentratiemetingen werden wel allen olfactometrisch uitgevoerd, maar de gevolgde standaard werden door De Bode (1991) niet vermeld. Vergelijking tussen de verschillende onderzoeken van de bekomen geurconcentratiereducties dienen dan ook zeer voorzichtig bekeken te worden.

Conclusie :

Door het afdekken van een mestopslagplaats naast de stal blijkt de geurhinder die door deze mestopslagplaatsen veroorzaakt wordt goed bestreden te kunnen worden.

Algemeen kan gesteld worden dat hoe beter de constructie (van bv. tentstructuur) luchtdicht is, hoe minder lucht en dus ook geurcomponenten geëmitteerd kunnen worden. Bij gesloten constructies dient toch enige ventilatie voorzien te zijn om explosiegevaar te vermijden.

Bij afdekkingsmethoden waarbij regeninval in het mestbekken mogelijk is, is het noodzakelijk om extra opslagcapaciteit te voorzien

Tabel 32. Overzicht van geurconcentratiereducties van verschillende afdekkingsmethoden voor externe mestopslagplaatsen ten opzichte van een niet-afgedekte mestopslagplaats.

Afdekkings-methode	Reductie van geur-concentratie t.o.v. controle	Opmerking
Tent - tentstructuur - opblaasbaar zeil	15 - 72 % ⁽¹⁾ - geen geurhinder ⁽²⁾ waargenomen door onderzoekers op 1m afstand	Hoe meer de constructie luchtdicht is, hoe minder lucht en dus ook geurcomponenten geëmitteerd kunnen worden. Bij gesloten constructies dient toch enige ventilatie voorzien te zijn om explosiegevaar te vermijden door ophoping onder de afdekking van geëmitteerde gassen.
Golfplaten	15 - 50 % ⁽¹⁾	Minder luchtdicht dan de tent
Drijvende folie	0 - 43 % ⁽¹⁾	Afdekkingen uit een stuk, leiden mogelijk tot problemen bij wisselende mestniveau's in de opslagbekkens.
Polystyreenschuim	10 - 40 % ⁽¹⁾	Verdunning van de mest met regenwater. Hierdoor krijgt men een grotere hoeveelheid mest. Hierdoor zal er extra opslagcapaciteit nodig zijn en extra mestbewerking en/of uitspreiding.
Organisch en anorganisch afdekkings-materiaal - stro - maïs - steentjes met lage densiteit - schuimlaag	+/- 90 % ⁽³⁾ 66 - ± 90 % ⁽³⁾ > 90 % ⁽³⁾ > 90 % ⁽³⁾	- Stro en maïs kunnen een goedkoop alternatief zijn voor de beperking van de emissies uit een mestopslagplaats. Deze materialen bezinken echter na verloop van tijd. - Anorganisch materiaal dat herbruikbaar is en niet bezinkt, biedt misschien wel interessante mogelijkheden. - Schuimlagen kunnen goedkoop gegenereerd worden, maar meer onderzoek is nodig om het proces verder te ontwikkelen. - Menging met regenwater is bij deze afdekmaterialen ook een probleem.

(1) : naar De Bode (1991), metingen uitgevoerd met varkens- en rundveemest

(2) : naar Zhang & Gaakeer (1998), metingen uitgevoerd met varkensmest

(3) : naar Bundy et al. (1997), metingen uitgevoerd met varkensmest

4.3 Beperking van geuremissies tijdens het uitrijden

Een deel van de geurhinder die optreedt bij het uitspreiden van de mest op het land kan vermeden worden door toepassing van een aantal maatregelen. Maatregelen die getroffen kunnen worden zijn : het uitrijden van de mest vroeg in de morgen en op bewolkte dagen, aangezien de sterkste emissies in de eerste uren na het uitrijden plaatsvinden en hogere temperaturen gecombineerd met sterke zonnestraling voor een verhoging van de emissies zorgt (Nicolai, 1996). Uitrijden op momenten waarbij rekening wordt gehouden met de windrichting ten opzichte van buurtbewoners en het vermijden van uitrijden in weekends en op vakantiedagen, zal ook bijdragen tot een beperking van de geurhinder die ervaren wordt door de omwonenden.

Voorgaande geurhinderbeperkende maatregelen zullen echter niet altijd voldoende zijn om problemen te vermijden. Aangepaste mestbehandeling- en mestverspreidingstechnieken dienen dan mogelijk ook gebruikt te worden.

4.3.1 Voorafgaande mestbehandeling van de uit te spreiden mest

In tabel 33 worden de resultaten getoond van een aantal onderzoeken van Pain & Misselbrook (1991, 1995) van het uitspreiden van onbehandelde en beluchte varkensmengmest op grasland. De beluchting van de mest was continu gedurende vier dagen en gebeurde in een proefopstelling. Uit de resultaten blijkt dat een voorafgaande beluchting van de mengmest de geurconcentraties tijdens en na het uitspreiden van de mengmest beperken. Beluchting van de mest zorgt wel voor een toename van de NH_3 -emissies. De geurconcentratiereductie die bekomen wordt door de mest te scheiden en enkel de dunne fractie uit te rijden is mogelijk te verklaren door een betere infiltratie van de mest in de bodem.

Tabel 33. Geurconcentraties bepaald na het uitspreiden van onbehandelde en beluchte varkensmengmest op grasland.

Pain & Misselbrook, 1995.				
	Tijd na uitspreiding [u]			
	0	4		
Behandeling	Geurconcentratie [ge/m ³]			
Onbehandeld	201	173		
Scheiding	147	121		
Scheiding + beluchting (RP)	106	65		
Scheiding + beluchting (OZ)	20	30		
Pain & Misselbrook, 1991.				
Behandeling	Totale emissie/m ² gedurende het experiment			
	Onbehandelde mengmest		Behandelde mengmest	
	10 ³ ge	mg NH ₃ -N	10 ³ ge	mg NH ₃ -N
Beluchting - meting 1	4479	1687	1330	2981
Beluchting - meting 2	3341	2197	1673	3330

RP = beluchtingshoeveelheid werd hier gecontroleerd a.h.v. de redox-potentiaal.

OZ = beluchtingshoeveelheid werd hier gecontroleerd a.h.v. de opgeloste zuurstofconcentratie.

Door Neukermans & Colanbeen (1990) werden geurconcentratiereducties gevonden van 96 tot 98 % bij het uitrijden van beluchte ten opzichte van onbehandelde mengmest. Op welke tijdstippen na het uitrijden dat de geurconcentraties werden bepaald, wordt door de onderzoekers niet vermeld.

Tabel 34 geeft de resultaten weer van de onderzoeken van Pain & Misselbrook (1991, 1995) naar de geurconcentraties en -emissies van anaëroob behandelde mest. Uit tabel 34 blijkt dat een anaërobe behandeling van de varkensmest voor het uitspreiden ook tot een reductie van de geurconcentraties en -emissies zorgt. Op de NH₃-emissies blijkt de anaërobe behandeling slechts weinig invloed te hebben. Anaërobe afbraak van varkensmest leidt wel tot een stabielere eindproduct dat minder geur emitteert. Dit wil niet zeggen dat er tijdens het anaërobe afbraakproces geen extra hoeveelheid geurcomponenten vrijkomen, aangezien het net onder deze anaërobe omstandigheden en processen is dat de meeste geurcomponenten gevormd worden. Er dient dus opgelet te worden dat het probleem van de geuremissies niet verschoven wordt van de mestuitspreiding naar de mestbehandeling zelf.

Pain & Misselbrook (1991) onderzochten ook de invloed van de pH op de geur- en NH₃-emissie van uitgereden varkensmest. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 35.

Hieruit blijkt dat een verlaging van de pH wel voor een reductie van de NH_3 -emissie zorgt, maar mogelijk een verhoging van de geuremissie teweeg brengt.

Tabel 34. Geurconcentraties bepaald na het uitspreiden op grasland van onbehandelde en anaëroob behandelde varkensmest.

Pain & Misselbrook, 1995.				
	Tijd na uitspreiding [u]			
	0		6	
Behandeling	Geurconcentratie [ge/m ³]			
Bedrijf A - onbehandeld	611		15	
Bedrijf A - anaërobe afbraak	143		31	
Bedrijf B - onbehandeld	1101		23	
Bedrijf B - anaërobe afbraak	223		5	
Pain & Misselbrook, 1991.				
Behandeling	Totale emissie/m ² gedurende het experiment			
	Onbehandelde mengmest		Behandelde mengmest	
	10 ³ ge	mg NH ₃ -N	10 ³ ge	mg NH ₃ -N
Anaërobe afbraak - meting 1	1397	1184	363	927
Anaërobe afbraak - meting 2	3972	2154	654	2404
Anaërobe afbraak - meting 3	649	1463	164	1713
Anaërobe afbraak - meting 4	606	3396	183	1745

Tabel 35. Invloed van de pH op de geur- en NH_3 -emissie van uitgespreide varkensmest (Pain & Misselbrook, 1991).

Behandeling		Totale emissie/ m^2 gedurende het experiment	
		Behandelde mengmest	
	pH	10^3 ge	mg $\text{NH}_3\text{-N}$
pH-regeling	7.4	998	1379
pH-regeling	6.1	1325	187
pH-regeling	5.1	1080	47
pH-regeling	3.6	1704	0

4.3.2 Toepassing van verschillende uitspreidingstechnieken

Mestverspreiding met conventionele vacuümtankwagens met een groot verspreidingsdebiet kan resulteren in de productie van vele kleine druppels, die de evaporatie van vluchtige componenten bevordert. Significante reducties van geuremissies kunnen bekomen worden door het gebruik van lage-traject mestverspreiders of mestinjectiesystemen. In vergelijking met een traditionele vacuümtankmestverspreider werden er onmiddellijk na uitspreiding

geuremissiereducties gevonden van 83, 70 en 38 % door respectievelijk gebruik te maken van een diep-mestinjectiesysteem, een ondiep-mestinjectiesysteem en een lage-traject mestverspreider. Mestinjectiesystemen hebben wel als nadeel dat de graszode beschadigd wordt. De mate waarin dit gebeurt is afhankelijk van het ontwerp van de injectietanden en de bodemcondities op het moment van injectie. Bij mestverspreiding op akkerland, kan de mest ook onmiddellijk ondergewerkt worden na het uitspreiden. Experimenten met drie verschillende incorporatiemethoden (inploegen, gebruik van roterende eggen en gebruik van vaste eggen) met verschillende tijden van incorporatie na het uitrijden (0, 3 en 6 uur), toonden aan dat enkel ploegen onmiddellijk na het uitrijden van de mest een effectieve maatregel is. In vergelijking met een controle, gaf het onmiddellijk inploegen van de mest een geuremissiereductie van 52 %. Het gebruik van roterende eggen voor de onderwerking van de uitgespreide mest zorgde voor een geuremissiereductie van 20 %. Bij gebruik van vaste eggen bij de incorporatie onmiddellijk na de uitspreiding van de mest en bij incorporatie na 3 of 6 uur (bij het inploegen en onderwerken met vaste of roterende eggen) werd geen geurreductie waargenomen. (Pain & Misselbrook, 1995)

In tabel 36 en tabel 37 wordt een overzicht gegeven van een onderzoek van Phillips et al., (1991) naar de beperking van geuremissies door gebruik te maken van verschillende mestverspreidingstechnieken.

Tabel 36. Geuremissies van uitgespreide varkensmengmest, gemeten TIJDENS het uitrijden (Phillips et al., 1991).

Type verspreidingsmachine	Geuremissie [10^3 ge / s]	Totale geuremissie [10^3 ge / m ³ verspreide varkensmengmest]
Conventionele vacuümtank	7.87 ± 2.27	349 ± 130
Lage-traject mestverspreider	3.30 ± 2.43	133 ± 97
Ondiepe (75 mm) mestinjectie (prototype)	1.05 ± 0.78	35 ± 27
Diepe (150 mm) mestinjectie	2.67 ± 1.63	182 ± 100
Kabel-gestuurd irrigatiesysteem	30.52 ± 27.5	6520 ± 5690

De meting van de geuremissies in dit onderzoek van Phillips et al. (1991) tijdens het uitrijden van de mest (zie tabel 36) gebeurde als volgt : de verspreidingsmachine reed windopwaarts en

werd onmiddellijk gevolg door een Land Rover waarop de monsternamen-apparatuur bevestigd was. De geurconcentraties van de genomen luchtmonsters werden olfactometrisch bepaald volgens methoden die de huidige standaards benaderen.

Bij vergelijking van de verschillende mestverspreidingsmachines, kon tussen de verschillende machine-paren slechts één significant verschil aangetoond worden. Dit voor de lage-traject mestverspreider die lagere geurconcentraties emitteerde in vergelijking met het conventionele verspreidingssysteem. De reden waarom er tussen de andere machine-paren hier geen significante verschillen konden aangetoond worden, is vermoedelijk te wijten aan de grote standaardafwijkingen op de bekomen resultaten van de geuremissies.

De hoge geuremissiewaarden die gevonden werden bij de uitspreiding van de mest door het kabel-gestuurd irrigatiesysteem, zijn te wijten aan het ontwerp van de gebruikte installatie. De mest werd hierbij namelijk met hoge debieten door smalle openingen verspreid. Onder deze condities worden vele kleine druppels gevormd, die de evaporatie van vluchtige componenten bevordert.

Tabel 37. Geurconcentraties [ge/m^3] NA het uitrijden van varkensmengmest in functie van de tijd, waarbij de mest simultaan werd verspreid op drie identieke percelen (Phillips et al., 1991).

Type verspreidingsmachine	Aantal uren na uitspreiding				
	0	3.5	24.5	45	123
Conventionele vacuümtank	59	25	14	17	15
Ondiepe (75 mm) mestinjectie (prototype)	15	33	-	8	10
Diepe (150 mm) mestinjectie	28	7	0	21	19
Achtergrondwaarde	7	-	14	28	2

De metingen van de geurconcentraties na het uitrijden van de mest (zie tabel 37), gebeurde op bemeste cirkelvormige percelen.

Voor alle verspreidingstechnieken daalde de geurconcentraties snel in de eerste uren na uitspreiding. Bij het conventionele systeem lagen de geurconcentraties onmiddellijk na de

uitspreiding opmerkelijk hoger dan bij de andere uitspreidingstechnieken. Het verschil tussen de diepe en de ondiepe mestinjectie, is uit deze gegevens moeilijk te bepalen.

4.3.3 Algemeen overzicht van de beperking van geuremissies tijdens het uitrijden van varkensmest

Tabel 38. Algemeen overzicht van de mogelijke maatregelen voor de beperking van de veroorzaakte geurhinder bij het uitrijden van varkensmest, alsook de behaalde geuremissie en -concentratiereducties bij de verschillende technieken.

Algemeen geurhinderbeperkende maatregelen bij het uitrijden			
• Vroeg in de morgen en op bewolkte dagen uitrijden • Rekening houden met de windrichting t.o.v. de omwonenden bij het uitrijden • Vermijden van uitrijden in weekends en op vakantiedagen			
Voorafgaande mestbehandeling van de uit te spreiden mest			
Onderzoekers	Behandeling	Reductie t.o.v. controle	
Pain & Misselbrook, 1995.		Geurconcentratie-reductie onmiddellijk na uitspreiding	Geurconcentratie-reductie 4 u na uitspreiding
	Scheiding en uitrijden van dunne mestfractie	27 %	30 %
	Scheiding + beluchting. Beluchtingshoeveelheid gecontroleerd a.h.v. de redox-potentiaal	47 %	62 %
	Scheiding + beluchting. Beluchtingshoeveelheid gecontroleerd a.h.v. de opgeloste zuurstofconcentratie	90 %	83 %
Pain & Misselbrook, 1991.		Reductie van totale emissie/m ² gedurende het experiment	
	Beluchting	50 - 70 %	
Neukermans & Colanbeen, 1990.		Geurconcentratiereductie. Tijdstip van meting na uitrijden werd niet vermeld door de onderzoekers.	
	Beluchting	96 - 98 %	
Pain & Misselbrook, 1995.		Geurconcentratie-reductie onmiddellijk na uitspreiding	Geurconcentratie-reductie 6 u na uitspreiding

	Anaërobe afbraak	77 %	TOENAME van 52 % t.o.v. onbehandelde mest
	Anaërobe afbraak	80 %	78 %
Pain & Misselbrook, 1991.		Reductie van totale emissie/m ² gedurende het experiment	
	Anaërobe afbraak	74 - 84 %	
	pH-regeling	Bij een pH-daling van 7.4 tot 3.6 werd een TOENAME van de geuremissie van 41 % gevonden	
Toepassing van verschillende uitspreidingstechnieken			
Onderzoekers	Mestverspreidingstechniek	Geuremissiereductie bij uitspreiding t.o.v. emissie bij een conventionele vacuümtankmestverspreider	
Pain & Misselbrook, 1995.	Diep-mestinjectiesysteem	83 %, onmiddellijk na uitspreiding.	
	Ondiep-mestinjectiesysteem	70 %, onmiddellijk na uitspreiding.	
	Lage-traject mestverspreider	38 %, onmiddellijk na uitspreiding.	
	Ploegen, onmiddellijk na het uitrijden	52 %	
	Incorporatie met roterende eggen, onmiddellijk na het uitrijden	20 %	
	- Incorporatie met vaste eggen onmiddellijk na uitrijden - Incorporatie (inploegen, roterende eggen of vaste eggen) na 3 of 6 uur	Geen geuremissiereductie waargenomen.	
Phillips et al. 1991.	Diep-mestinjectiesysteem	66 %	
	Ondiep-mestinjectiesysteem	58 %	
	Lage-traject mestverspreider	87 %	
	Kabel-gestuurd irrigatiesysteem	De geuremissie bij gebruik van een kabel-gestuurd irrigatiesysteem, lag een factor 4 hoger t.o.v. het conventionele systeem. Hier dient wel opgemerkt te worden dat voor deze metingen zeer grote standaardafwijkingen werden gevonden	
		Geurconcentratiereducties respectievelijk 0, 3.5, 24.5, 45 en 123 uur na uitspreiding	
	Diep-mestinjectiesysteem	53 %, 72 %, 100 %, TOENAME van de emissie met 24 % en TOENAME van de emissie met 27 %	

	Ondiep-mestinjectiesysteem	75 %, TOENAME van de emissie met 32 %, geen meting, 53 % en 33 %
--	----------------------------	--

Conclusie :

De keuze van het moment waarop uitgereden wordt, zal niet altijd voldoende zijn om de veroorzaakte geurhinder te beperken voor omwonenden van een bemest wei- of akkerland. Bijkomende geurconcentratie en -emissiereducties kunnen bekomen worden door de mest voor de uitspreiding te behandelen. Voorafgaande beluchting (geurconcentratie- en emissiereducties van $\pm 50 - 95$ % mogelijk) heeft als bijkomend voordeel, in tegenstelling tot een anaërobe behandeling, dat de geurhinder van de mest reeds beperkt wordt tijdens de opslag.

Bij de mestinjectiesystemen (geurconcentratie- en emissiereducties van $\pm 60 - 80$ % mogelijk, onmiddellijk na uitspreiding) blijkt de invloed van een diepere mestinjectie (150 mm t.o.v. 75 mm injectiediepte) slechts zeer beperkt. Ook het kort boven de grond uitspreiden van de mest door verlaging van de mestverspreidingsbalk blijkt effectief te zijn om een beperking van de geuremissies te bekomen ($\pm 40 - 85$ %).

Op akkerland kan de mest na het uitrijden ingewerkt worden. Hier blijkt het onmiddellijk inploegen van de mest na het uitrijden de meest geurhinderbeperkende maatregel te zijn (geuremissiereducties van ± 50 % werden gevonden).

Gebruik van een mestvoorbehandelingssysteem of aangepast mestverspreidingssysteem zou de kosten per m³ uitgespreide mest met een factor 1.05 (voor mestverpreiding met een verlaagde mestverspreidingsbalk) tot 2.16 (voor een voorafgaande anaërobe mestbehandeling) verhogen ten opzichte van het conventionele vacuümtankmestverspreidingssysteem.

5 Reductietechnieken voor de Ammoniakemissie

Zoals uit onderstaande tabel 39 blijkt, wordt in de Vlaamse veehouderij het grootste deel van de ammoniak geëmitteerd uit stallen. In 1992 bedroeg de totale ammoniakemissie uit stallen in Vlaanderen naar schatting 30.4 kton NH₃. Dit betekent een bijdrage van ongeveer 50% van de totale emissie door de veeteelt in Vlaanderen. Het grootste deel hiervan is afkomstig van de varkenshouderij, nl. 17.1 kton NH₃ in vergelijking met 10.6 kton NH₃ door rundveestallen en 2.5 kton NH₃ door pluimveestallen. Daarnaast wordt er een aanzienlijk deel van de ammoniak geëmitteerd bij toediening van mest op het veld, namelijk 29 kton NH₃/jaar of 46% van de totale ammoniakemissie door de veeteelt in Vlaanderen.

Tabel 39. Ammoniakemissie (in kton/jaar) door de veeteelt in Vlaanderen (1992) (Pollet et al.,1996)

	Rundvee	Varkens	Pluimvee	Overige vee	Totaal
Stal	10.6	17.1	2.5	0.1	30.4 (48%)
Mestopslag	/	/	/	/	0.01 (0.02%)
Toediening	10.5	17.8	0.8	0.07	29 (46%)
Weide	4	0	0	0.2	4.2 (6%)
Totaal	25.1 (39%)	34.9 (55%)	3.3 (5%)	0.4 (1%)	63.8 (100%)

In dit deel van het rapport komen de ammoniakreductietechnieken aan bod. Achtereenvolgens zullen voedertechnieken, stalsystemen, biofilters , mestadditieven en mestopslagsystemen besproken worden. In een overzicht worden de bestaande technieken voorgesteld die geschikt zijn om de ammoniakemissie te reduceren. Verder worden de in de literatuur beschreven en vooropgestelde reductiepercentages weergegeven evenals hun eventuele kostprijs.

5.1 Voedingsmaatregelen

De ammoniakuitstoot uit stallen kan gereduceerd worden mits toepassing van emissiebeperkende maatregelen. Om dit te bewerkstelligen is er reeds heel wat onderzoek naar stalsystemen uitgevoerd. De ammoniakemissie kan echter ook teruggedrongen worden door een combinatie van goedkope huisvestingsmaatregelen en voedingsmaatregelen. Meer

en meer worden voedingsmaatregelen immers beschouwd als een economisch haalbare manier om de ammoniakemissie uit stallen te reduceren. (Heinrichs & Oldenburg, 1993; Smits et al. 1995; Cahn et al., 1997a,b; Sutton et al., 1997).

Men kan voedingsmaatregelen opsplitsen in maatregelen die een direct effect hebben op de ammoniakemissie en maatregelen die indirect een effect hebben op de ammoniakemissie. Maatregelen die een direct effect hebben op de ammoniakemissie zijn die die een impact hebben op de omzetting van ureum of urinezuur uit de mest (feces + urine). Dit kan zijn door verlaging van de mest-pH of door middel van ureaseremmers. Indirecte maatregelen beperken, door een verminderde stikstofopname of door een betere benutting van de opgenomen stikstof, de stikstofexcretie in de mest en meer bepaald de stikstofexcretie in de urine. Om de processen waarop de voedingsmaatregelen inwerken beter te begrijpen, wordt eerst de stikstofhuishouding van niet-herkauwers (varkens en pluimvee) en herkauwers (rundvee) bekeken. Vervolgens worden in het tweede deel de mogelijke reductiemaatregelen met hun potentieel en eventuele kosten behandeld.

5.1.1 Stikstofhuishouding

5.1.1.1 Niet herkauwers: varkens en pluimvee

5.1.1.1.1 Ideaal eiwit

Varkens, kippen en andere niet-herkauwers hebben minder een behoefte voor intacte eiwitten, dan voor de essentiële aminozuren waaruit de ruwe voedingseiwitten bestaan (Peisker, 1996). Essentiële aminozuren kunnen niet zelf door het dier aangemaakt worden, maar dienen opgenomen te worden via het voeder.

De behoefte aan alle essentiële aminozuren in relatie tot de eiwitbehoefte, kan gedefinieerd worden als de aminozuursamenstelling van het ideale eiwit (ARC, 1981). Het ideaal eiwit is een eiwit dat voorziet in aminozuren in exact die hoeveelheden die nodig zijn voor het dier en die daarom, in geschikte omstandigheden, volledig benut worden. In een ideaal eiwit worden alle geabsorbeerde aminozuren weerhouden met een efficiëntie die de 100 % benadert.

Een tekort aan het niveau van een bepaald essentieel aminozuur om te voldoen aan zijn rol in de optimale aminozuurbalans, zal gevolgen hebben op de prestaties van het dier. Men spreekt dan van een limiterend aminozuur. Lysine, methionine+cystine, threonine en tryptofaan zijn meestal de meest limiterende aminozuren en zijn daarom ook vaak de enige aminozuren die opgenomen worden bij de aminozuurbehoeften. Ze worden industrieel geproduceerd en zijn commercieel beschikbaar. Toevoeging van een of meerdere van deze aminozuren zal de hoeveelheid ideaal eiwit in de meeste voeders significant doen toenemen. Daar lysine meestal het eerst gelimiteerde aminozuur is en het een bepalende rol speelt bij de aanzet van spiereiwit (Leterme en Thewis, 1998), wordt het vaak als referentie gebruikt om de verhouding van de verschillende essentiële aminozuren te bepalen.

5.1.1.1.2 Verteerbaarheid van het voedereiwit door niet-herkauwers

Niet alle eiwitten worden volledig verteerd. Sommige zijn onverteerbaar terwijl andere gebonden zijn aan een verteringsbestendige vezelfractie. Hierdoor staat het gehalte aan aminozuren in de grondstoffen niet direct in relatie met hun beschikbaarheid voor het dier (Leterme en Thewis, 1998). Om het eiwitgehalte in het voeder te kunnen afstemmen op de aminozuurbehoefte van de dieren, dient bijgevolg de verteerbaarheid van de eiwitten gekend te zijn. Deze verteerbaarheid van eiwitten kan gemeten worden door het verschil te maken tussen de opgenomen en de uitgescheiden hoeveelheid eiwitten (of aminozuren).

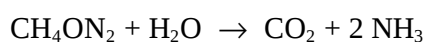
Daar enkel de stikstoffractie die geabsorbeerd wordt in de dunne darm kan bijdragen tot de eiwitsynthese (Zebrowska et al., 1978), wordt de behoefte aan aminozuren uitgedrukt op basis van hun verteerbaarheid in de dunne darm, d.i. “ileale verteerbaarheid”. In de dunne darm worden de eiwitten door eiwitsplitsende enzymen eerst afgebroken tot aminozuren en vervolgens eventueel tot aminen en ammoniak. De aminozuren en ammoniak worden geabsorbeerd en met het bloed naar de lever getransporteerd.

In de dikke darm zullen onverteerde eiwitten die uit de dunne darm komen, gewijzigd of afgebroken worden door een zeer actieve darmflora. Stikstof wordt geïncorporeerd als bacteriële stikstof of in de vorm van ammoniak geabsorbeerd door de dikke darm. Veel van de bacteriële stikstof is terug te vinden in de feces. De dikke darm absorbeert praktisch geen aminozuren. De fractie die toch in de vorm van ammoniak geabsorbeerd wordt, draagt niet

bij tot de eiwitsynthese maar wordt met het bloed naar de lever getransporteerd waar ze omgezet wordt tot ureum dat via de urine uitgescheiden wordt. De voederresten die niet verteerd zijn, worden met de feces uitgescheiden. De verteerbaarheid gemeten aan het einde van de dikke darm is de “fecale verteerbaarheid”.

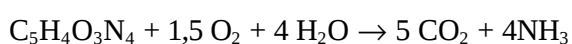
In de urine wordt stikstof uitgescheiden als ureum (varkens) of urinezuur (kippen), wat met behulp van het enzyme urease zeer snel gedegradeerd wordt tot ammoniak. De stikstof aanwezig in de feces is veel meer resistent voor degradatie. De omzetting van ureum en urinezuur tot ammoniak en water, gebeurt via volgende reactie:

Voor varkens:



ureum

Voor pluimvee:



urinezuur

Bij de ileale verteerbaarheid dient men een onderscheid te maken tussen de schijnbare ileale vertering en de werkelijke ileale vertering. De schijnbare ileale vertering van een aminozuur is het verschil tussen de opgenomen hoeveelheid van een bepaald aminozuur en de hoeveelheid aan het einde van het ileum (dunne darm). De nutriënten aan het uiteinde van het ileum zijn echter samengesteld uit zowel onverteerde voedselresten als uit endogene proteïnen. Deze endogene eiwitten zijn afkomstig van niet-gereabsorbeerde verteringssecreties (speeksel, maag- en darmsappen, enzymen, ...). Tijdens het verteringsproces worden immers grote hoeveelheden eiwitten over de gehele lengte van het darmkanaal afgescheiden. Deze worden slechts ten dele gereabsorbeerd. Om de werkelijke verteerbaarheid te kennen, dient men de schijnbare verteerbaarheid te corrigeren met de endogene aminozuurfractie.

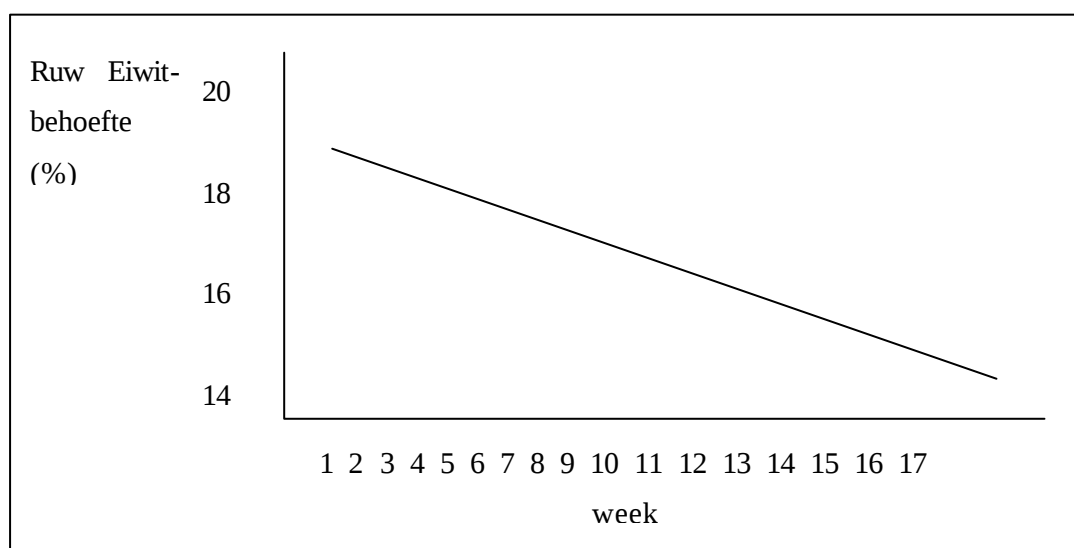
De endogene aminozuurfractie bestaat enerzijds uit een constante basale fractie, die kan bepaald worden met behulp van een eiwitrijkregime, en anderzijds uit de specifieke fractie van de grondstoffen. Deze laatste is zeer variabel en hangt af van de chemische samenstelling van het voeder (antinutritionele factoren, vezels,...) en van fysisch-chemische eigenschappen.

5.1.1.1.3 Stikstofbenutting bij niet-herkauwers

Bij groeiende of producerende dieren is de behoefte aan nutriënten geen constante, maar varieert in functie van leeftijd (vleesvarkens en –kippen) en productiestadium (fokzeugen en leghennen).

In figuur 18 wordt de dalende eiwitbehoefte van vleesvarkens weergegeven. Deze figuur impliceert dat, wil men het stikstofaanbod via voeder laten overeenstemmen met de stikstofbehoefte van het dier, men op regelmatige tijdstippen de nutriëntensamenstelling van het voeder moet aanpassen. Immers, doordat de nutriëntenbehoefte daalt naarmate de dieren zwaarder worden, zal dit bij een onaangepaste voedersamenstelling resulteren in een toenemend nutriëntenoverschot. Vooral de stikstofexcretie via de urine zal toenemen, doordat niet de eiwitverteerbaarheid maar wel de benutting van het verteerde eiwit afneemt bij toenemend lichaamsgewicht.

Figuur 18. Schematische voorstelling van de eiwitbehoefte van groeiende vleesvarkens

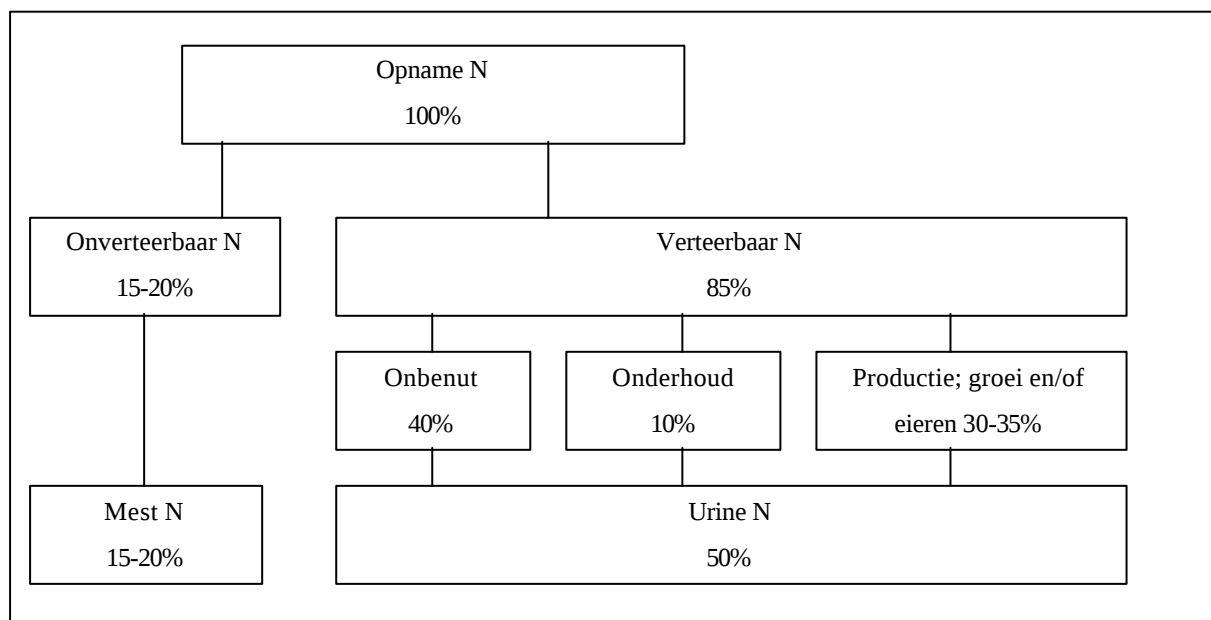


Aangezien bij groeiende dieren (vleesvarkens en –kippen) het eiwit- en aminozuurgehalte in het voeder nooit lager mag zijn dan de behoefte van de jongste dieren in een bepaalde groeifase, wordt de samenstelling van het voeder gebaseerd op de behoefte van de dieren in het begin van de desbetreffende fase. Doordat er in de Belgische vleesvarkenshouderij nog frequent gebruik gemaakt wordt van tweefasenvoeder, neemt het dier een overschot aan eiwit op waardoor er gemiddeld slechts 30-35% van het opgenomen eiwit benut wordt. Van het

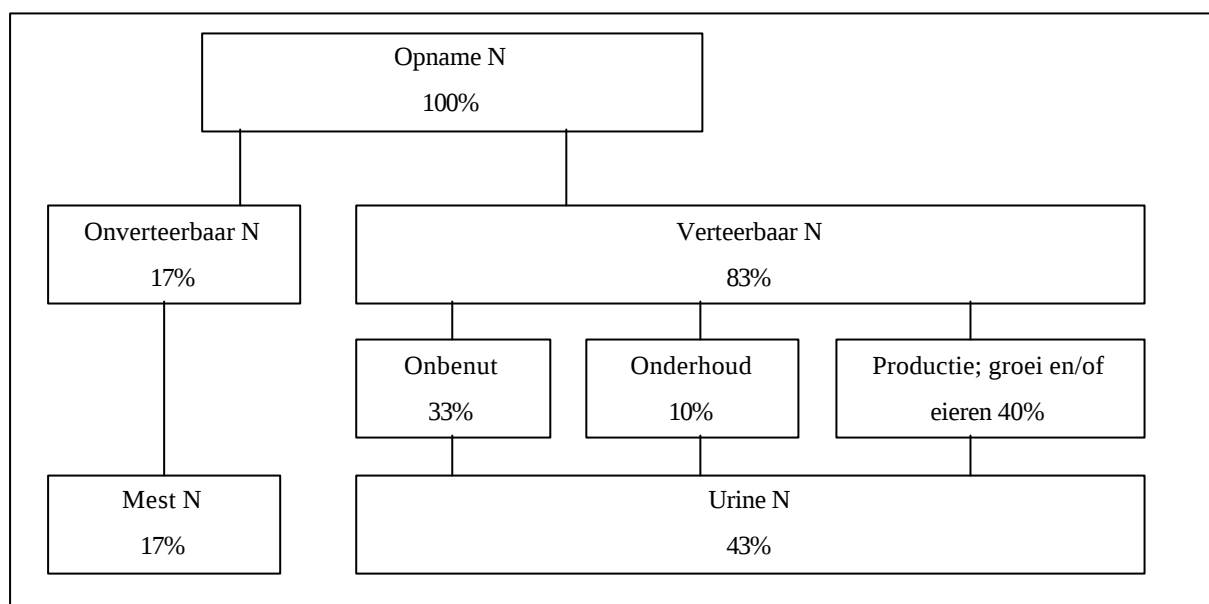
opgenomen voedereiwit (100%), wordt 15-20% onverteerd uitgescheiden met de feces. Van de 85% verteerde eiwitten, gaat 30-35% naar de productie, 10% naar het onderhoud en wordt er 40% niet benut. De hoeveelheid niet benutte eiwitten wordt samen met het percentage voor onderhoud als ureum uitgescheiden met de urine (onderhoud is een continue aanmaak en afbraak van eiwitten). In totaal gaat er dus 65 tot 70 % van de met het voeder opgenomen stikstof naar het milieu. (figuur 19)

Schutte en Tamminga (1992) schatten, op basis van de situatie van 1990-1991, de benutting van stikstof door pluimvee op 40%. Dit wil zeggen dat er 60% van de via het voeder opgenomen stikstof terug uitgescheiden wordt. Wanneer de stikstofopname via het voeder 100% wordt gesteld, wordt 17% hiervan niet verteerd. Dit percentage wordt met de feces uitgescheiden. Het percentage stikstof dat wel verteerd wordt, wordt echter niet volledig benut; slechts ca. 50% wordt gebruikt voor het onderhoud (ca. 10%) en de productie van vlees en eieren (ca. 40%). Bijgevolg blijft ongeveer 33% van de opgenomen stikstof onbenut. Deze 33% komt samen met de 10% voor het onderhoud in de urine, waar het uitgescheiden wordt als urinezuur. (figuur 20)

Figuur 19. Schematisch overzicht van de stikstofverliezen bij vleesvarkens



Figuur 20. Schematisch overzicht van de stikstofverliezen bij pluimvee (Den Hartog en Verdoes, 1994)



Bij producerende zeugen wordt de nutriëntenbehoefte opgedeeld in de drachtperiode en de lactatieperiode. Daarenboven kan de dracht nog opgesplitst worden in twee fasen, namelijk de vroege en de late dracht. Tijdens het begin van de dracht is de nutriëntenbehoefte beperkt. De zeug bevindt zich in een soort rustfase en heeft slechts een beperkte energie-, eiwit- en mineralenbehoefte. Deze behoefte neemt in belangrijke mate toe naar het einde van de dracht. Doordat er tijdens de lactatieperiode naar een maximale melkproductie gestreefd wordt, is in deze periode de nutriëntenbehoefte het grootst. Momenteel wordt op veel bedrijven nog steeds gebruik gemaakt van één voeder, dat zowel tijdens de dracht als de lactatie gegeven wordt. Aangezien dit voeder gebaseerd is op de hoge behoefte tijdens de lactatie, neemt het varken tijdens de dracht een overmaat aan eiwitten op.

5.1.1.2 Herkauwers: rundvee

5.1.1.2.1 Verteerbaarheid van voeder door rundvee

De vertering van voeder door rundvee gebeurt hoofdzakelijk op twee niveaus. Het eerste verteringsproces heeft plaats in de pens, door enzymen geproduceerd door de daar aanwezige microbiële flora. Voedereiwitten worden hier afgebroken tot ammoniak, die gebruikt wordt

voor de synthese van microbiële eiwitten. Een deel van de voedereiwitten blijft echter intact en bereikt de lebmaag en de dunne darm, waar het tweede verteringsproces plaats heeft door enzymen geproduceerd door het dier zelf. Deze enzymen werken in op twee eiwitbronnen in de voormagen, met name de eiwitten opgenomen met het voeder, maar ook de microbiële eiwitten geproduceerd na het eerste verteringsproces. Tot slot zal er nog een kleine hoeveelheid fermentering plaatsvinden in de dikke darm, ten gevolge van de bacteriële activiteit.

De microbiële groei in de pens is afhankelijk van de hoeveelheid beschikbare energie en stikstof in de pens, en door de verhouding tussen deze twee. Hierdoor beïnvloeden deze factoren ook de hoeveelheid microbiële eiwitten, beschikbaar in de dunne darm. Het gebruik van de met het voeder opgenomen stikstof is maximaal wanneer de verhouding tussen de beschikbare stikstof en de beschikbare energie (N/E) optimaal is voor de hoeveelheid te produceren melk of levend gewicht. De microben kunnen namelijk niet meer ammoniak benutten dan op basis van de beschikbare energie mogelijk is. De stikstofexcretie is dan ook minimaal.

Rantsoenen voor rundvee zijn hoofdzakelijk gebaseerd op graslandproducten, zijnde vers gras of graskuilvoeder. Voor grasvoerders geldt dat de verteerbaarheid omgekeerd gerelateerd is met de inhoud van het celwandmateriaal. De verteerbaarheid van ouder gras neemt af, deels ten gevolge van een toename in celwandmateriaal en deels ten gevolge van een toegenomen lignificatie van de celwanden.

Zoals hierboven reeds vermeld, is de benutting van de voedereiwitten maximaal wanneer de verhouding tussen de beschikbare stikstof en de beschikbare energie optimaal is. Voor jong gras is deze verhouding groter dan het optimum. Dit wil zeggen dat er meer stikstof dan energie beschikbaar is. De grote hoeveelheden ammoniak in de pens geproduceerd, worden als ureum uitgescheiden. Voor volwassen gras, met weinig of geen stikstofbemesting, ligt de N/E verhouding onder de optimale waarde. De eiwitinhoud van jong gras is onvoldoende om het volledige gebruik van de beschikbare energie te kunnen garanderen (vooral voor lacterende en groeiende dieren).

Voor het behalen van een optimale kwaliteit van graskuil mag het gras niet te jong worden gemaaid. Jong gras bevat over het algemeen zeer weinig structuur waardoor er in de pens verzuring kan optreden. Ten gevolge hiervan worden de celwanden minder goed afgebroken en wordt het ruwvoer dus niet optimaal benut.

5.1.1.2.2 Darmverteerbaar eiwit

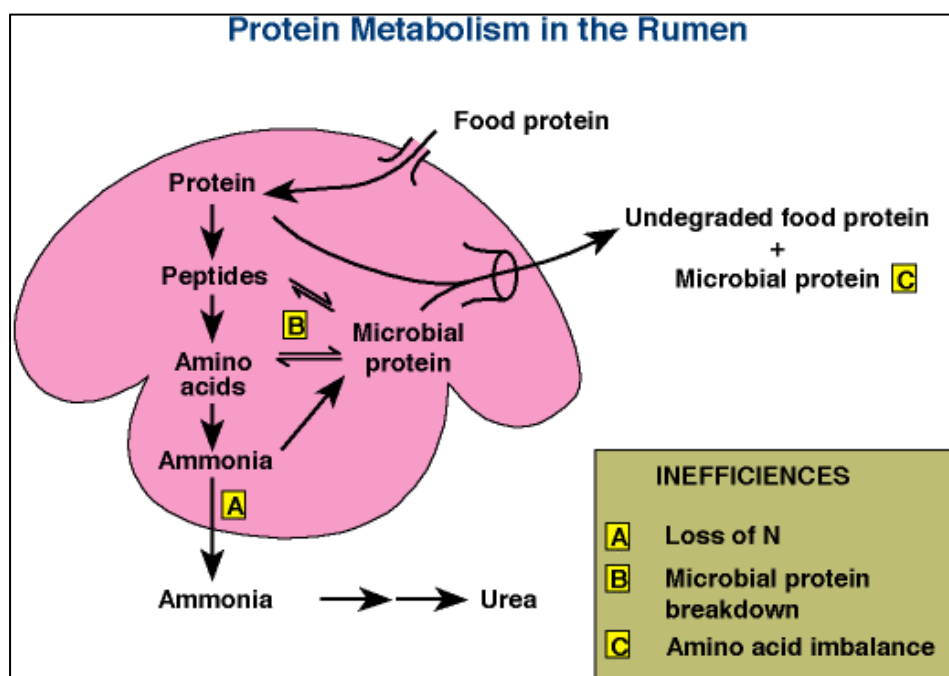
In 1991 werd er in de Nederlandse melkveehouderijsector een nieuw eiwitevaluatiesysteem ingevoerd, namelijk het **Darm Verteerbaar Eiwit systeem (DVE)**. In 1992 werd dit systeem eveneens in België ingevoerd. Het is de bedoeling om met dit nieuwe systeem vermijdbare stikstofverliezen te voorkomen, dit door nauwkeuriger naar de behoeften van het rundvee te voederen. Daarnaast geeft dit systeem een betere voorspelling van de melkeiwitproductie. Het is dus mogelijk om runderen een groter deel van het opgenomen eiwit in melk en vlees te laten vastleggen en zo een deel van de stikstofverliezen te vermijden. In het voorheen gehanteerde eiwitevaluatiesysteem, het VRE (verteerbaar ruw eiwit), werd verondersteld dat alle stikstofverbindingen die niet in de feces worden uitgescheiden, door het dier benut worden. Het hield geen rekening met de mate waarin eiwit in de pens wordt afgebroken en opgebouwd, noch met de mate waarin het eiwit in de dunne darm wordt verteerd.

Zoals hierboven reeds vermeld, vinden er tijdens het verteringsproces in het maagdarmkanaal van herkauwers belangrijke wijzigingen plaats inzake de hoeveelheid en de samenstelling van de voedereiwitten (figuur 21). Het ruw eiwit in het rantsoen kan opgesplitst worden in enerzijds “het werkelijk eiwit” en anderzijds het “niet werkelijk eiwit”. Deze laatste, ook wel “niet-eiwit-protein nitrogen”, kan afkomstig zijn van afgebroken voedereiwit zoals ammoniak en aminen in kuilvoeder, of kan toegevoegd zijn onder de vorm van bijvoorbeeld ureum. (Anonymus, 1992)

Een deel van de voedereiwitten wordt in de voormagen (de pens) door de microbiële flora afgebroken tot ammoniak, dit is het onbestendig voedereiwit. Van deze ammoniak wordt, op voorwaarde dat er voldoende bruikbare energie voorhanden is, een gedeelte door de microbiële flora gebruikt voor de synthese van microbieel eiwit en komt aldus als stikstofbron terug ter beschikking van het dier. De energie is voornamelijk afkomstig van pensverteerbare carbohydraten. De ammoniak die niet door de pensflora benut wordt, wordt via de penswand

in het bloed opgenomen, vervolgens in de lever omgezet tot ureum en in de urine uitgescheiden. Ook de fractie “non-protein nitrogen” komt in de pens onder de vorm van ammoniak volledig ter beschikking van de pensmicroben. Aan de eiwitbehoefte van hoogproductieve runderen, kan echter niet voldaan worden met microbieel eiwit alleen, ook voedereiwwitten zijn nodig. Er zijn dus voor het dier twee beschikbare eiwitbronnen: enerzijds het verteerbaar niet-afgebroken voedereiwit (*bestendig eiwit*) en anderzijds het verteerbaar microbieel eiwit. Deze twee eiwitbronnen vormen de totale hoeveelheid darmverteerbaar eiwit die ter beschikking staat van het dier.

Figuur 21. De stikstofhuishouding bij runderen (Rowett Research Institute)



Het darmverteerbare eiwitsysteem geeft inzicht in de overschotten of tekorten aan eiwit in de rantsoenen, doordat de onbestendige eiwitbalans (OEB) in de pens berekend wordt. De onbestendige eiwitbalans is de hoeveelheid microbieel ruw eiwit, gevormd op basis van onbestendig eiwit, verminderd met de hoeveelheid microbieel ruw eiwit, gevormd op basis van energie. Hiermee is de OEB een directe maat voor het eiwitoverschot of tekort in de pens. Wanneer de vorming van ammoniak precies afgestemd is op de beschikbare energie is de OEB in evenwicht en gelijk aan 0. Wanneer er in de pens meer of minder ammoniak is

dan beschikbare energie, spreekt men respectievelijk van een positieve en negatieve onbestendige eiwitbalans.

In dit systeem heeft elk voedermiddel een DVE-waarde, bestaande uit werkelijk verteerbaar eiwit, afkomstig van voedereiwitten die de pensdegradatie overleefd hebben, microbiel eiwit gesynthetiseerd in de pens en een correctie voor endogene eiwitverliezen in het verteringsstelsel. Daarnaast heeft elk voedermiddel ook een OEB-waarde (onbestendige eiwitbalans), die het verschil weergeeft tussen de potentiële microbiële eiwitsynthese gebaseerd op de gedegradeerde voedereiwitten in de pens en die gebaseerd op de energie beschikbaar voor de microbiële fermentatie in de pens. (Tamminga et al., 1994)

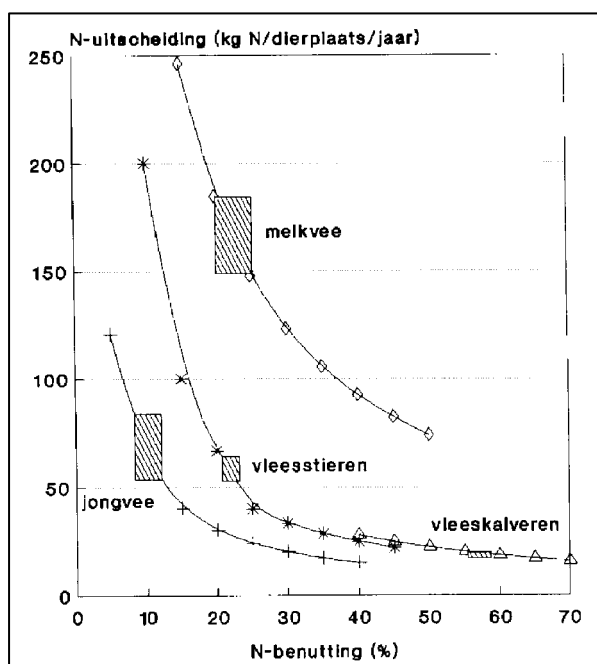
5.1.1.2.3 Stikstofbenutting bij herkauwers

Volgens Tamminga (1992) wordt in Nederland 75 tot 85 % van de via het voeder opgenomen stikstof door melkvee, uitgescheiden met de feces en de urine. Volgens Coppoolse et al. (1990) ligt de N-benutting bij melkkoeien tussen de 20% en 24%. Voor jongvee, vleesvee en vleeskalveren bedraagt de stikstofbenutting respectievelijk circa 9%, 22% en 57%. De behoeften van de dieren zijn het grootst in het lactatiestadium en het stadium van snelle groei. De stikstofbenutting ligt dan ook in het algemeen hoger bij lacterende dan bij groeiende dieren, en is hoger bij groeiende dieren dan bij dieren die noch lacteren noch groeien.

In figuur 22 is de relatie tussen de benutting en uitscheiding van stikstof voor de verschillende diercategorieën weergegeven. Hieruit blijkt dat vooral bij melk- en jongvee de verbetering van de stikstofbenutting grote gevolgen heeft voor de stikstofuitscheiding. Bij vleesvee (meststieren en vleeskalveren) zijn de gevolgen van een verbetering van de stikstofbenutting geringer. Bijgevolg dient de aandacht vooral uit te gaan naar een verbetering van de stikstofbenutting bij melk- en jongvee. (Coppoolse et al., 1992)

Stikstofverliezen door runderen vinden voornamelijk plaats bij:

- Excretie van ureum met de urine, als gevolg van *ammoniakverliezen in de pens*.
- Fecale- en urine-stikstofexcretie, door *onverteerbare en/of endogene excreties*.
- Urine-stikstofexcretie, door een *inefficiënt gebruik van geabsorbeerde eiwitten* voor *onderhoud* en voor de synthese van *melk- en lichaamseiwitten*.



Figuur 22. Relatie tussen de stikstofbenutting en stikstofuitscheiding (kg/dier,jaar). (kaders geven variatie in de huidige praktijk aan.) (Coppoolse et al., 1992)

Stikstofverlies in de pens

Stikstofverliezen in de pens treden op doordat de microbiële degradatie van de voedereiwitten niet gecompenseerd wordt door de aanmaak van microbiële eiwitten, ten gevolge van een “inbalance” tussen de onbestendige eiwit- en energievoorziening in de pens.

Deze verliezen zijn vooral aanzienlijk in voeders met een stikstofinhoud van meer dan 24g/kg D.S. In praktijk bestaan veel voeders uit gras of zijn ze gebaseerd op gras (bv. hooi). Het stikstofaandeel in deze voeders bedraagt 30 tot 35 g per kg droge stof. Wanneer maïs deel uitmaakt van het rantsoen, ligt de stikstofinhoud lager, maar bedraagt toch nog zelden minder dan 30 g N/kg D.S rantsoen. (Tamminga, 1992)

De stikstofverliezen in de pens kunnen beperkt worden door:

- Reductie van de stikstofinhoud in het voeder.
- Reductie van de degradatie van het voedereiwit.

- Efficiënter gebruik maken van de gedegradeerde eiwitten door de microbiële eiwitsynthese.

Fecale stikstofverliezen

Fecale stikstofverliezen zijn afkomstig van onverteerd voeder, onverteerde microbiële stikstof en endogene stikstof. Aangezien de werkelijke verteerbaarheid van voedereiwitten en microbiel eiwit vrij hoog is (respectievelijk ongeveer 90 en 85 %), ligt de meest belovende methode om fecale stikstofexcretie te reduceren in de reductie van de endogene stikstofverliezen. Endogene stikstofverliezen zijn stikstofverliezen afkomstig van vrijzetting van verteringsenzymen die niet gereabsorbeerd worden en van het afvellen van de epitheelcellen van de darmwand. In het DVE systeem spreekt men over metabool fecaal eiwit. Deze endogene verliezen zijn hoofdzakelijk gerelateerd aan de hoeveelheid droge stof die het darmkanaal passeert en de onverteerde droge stof en organisch materiaal dat geëxcreteerd wordt met de feces en variëren dus met de kwaliteit van het voeder. (Tamminga, 1992)

Stikstofverliezen ten gevolge van onderhoud

De onderhoudsbehoefte is de behoefte nodig voor het in balans houden van niet-producerende dieren. Deze behoefte is moeilijk te meten. De verliezen in onderhoud zijn endogene verliezen en zijn onvermijdbaar: verliezen van huidsecreties en haar, urine en fecale stikstofverliezen (metabolische fecale stikstofverliezen). De verliezen via huidsecreties en haar zijn waarschijnlijk gerelateerd aan het lichaamoppervlak.

Wat betreft de stikstofverliezen via de urine, worden deze vertegenwoordigd door de weefselonderhoudsbehoeften en worden in onderstaande paragraaf besproken. De fecale stikstofverliezen, zijnde de metabolische stikstofverliezen, werden reeds besproken hierboven. In het DVE systeem worden de metabolische fecale stikstofverliezen echter niet bij de onderhoudsverliezen gerekend, omdat uit onderzoek gebleken is dat deze verliezen merkelijk meer verband houden met het voeder dan met het dier zelf (Anonymus, 1992). De andere verliezen in onderhoud zijn echter vrij klein. Er wordt geen bijkomend voordeel bekomen in het reduceren van deze verliezen. Een kleine reductie in stikstofverlies zou nog bekomen kunnen worden door een toename van de productie per dier. (Tamminga, 1992) De

onderhoudsverliezen per dier staan immers vast. Dit heeft tot gevolg dat bij een toename van de productie per dier, de totale onderhoudsverliezen verdund worden doordat het aantal dieren nodig voor het behalen van een bepaald productieniveau gereduceerd wordt.

Stikstofverliezen met urine

De bronnen van het urine-stikstofverlies kunnen zijn (* werd hierboven reeds besproken):

- stikstofverliezen in de pens *
- vervangen van metabolische verliezen in het darmkanaal *
- incorporatie van voedereiwit in microbiële nucleïnezuren
- verlies in onderhoud *
- verlies ten gevolge van een inefficiënte omzetting van geabsorbeerde aminozuren in melk- en lichaamseiwitten.

Van de met het voeder opgenomen stikstof, zou zo'n 10% verloren gaan als nucleïnezuur bij de synthese van de microbiële eiwitproductie. Daarnaast wordt 10 tot 15% verloren bij inefficiënt gebruik van de geabsorbeerde aminozuren voor de synthese van melk- en of lichaamseiwitten.

Als algemene regel geldt dat rundvee niet boven zijn stikstofbehoefte mag gevoederd worden. De benutting van het geabsorbeerde eiwit wordt optimaal wanneer de dieren gevoerd worden op de juiste energie- en eiwitnorm. Reductie van de ammoniakemissie zal vooral bekomen worden wanneer bij een constante urineproductie het ureumgehalte in de urine afneemt.

5.1.2 Reductiemaatregelen

5.1.2.1 Niet herkauwers: varkens en pluimvee

Zoals reeds vermeld in de inleiding kan men de voedermaatregelen opsplitsen in maatregelen die een direct effect hebben op de ammoniakemissie en die die indirect een effect hebben op de ammoniakemissie. Indirecte maatregelen beperken, door een verminderde stikstofopname

(maatregel A1, A2, A3 en A4) of door een betere benutting van de opgenomen stikstof (maatregel A5), de stikstofexcretie in de mest en meer bepaald de stikstofexcretie in de urine. Maatregelen die een direct effect hebben op de ammoniakemissie beïnvloeden de omzetting van ureum of urinezuur uit de mest (feces + urine). Dit kan zijn door verlaging van de mest-pH (maatregel B1) of door middel van ureaseremmers (maatregel B2). Daarnaast zijn er nog verschillende additieven die toegevoegd kunnen worden aan het voeder (maatregel C1, C2, C3 en C4).

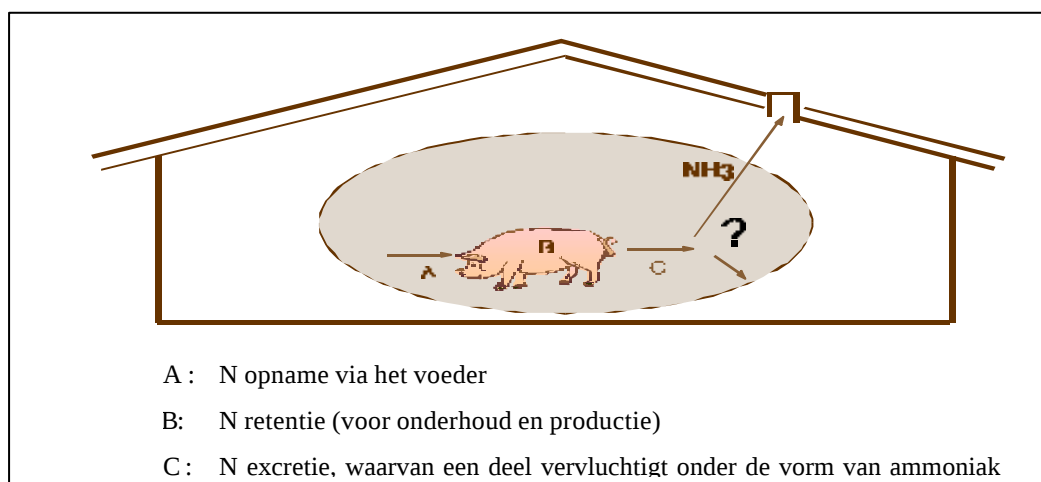
5.1.2.1.1 Beter afstemmen van het nutriëntenaanbod op de -behoefte van de dieren.

Het stikstofaanbod kan beter afgestemd worden op de stikstofbehoeften van de dieren door:

- verlaging van het eiwitgehalte in het voeder;
- meer- of multifasenvoeding;
- verbeteren van de verteerbaarheid van het voeder.

Om de excretie van stikstof in de uitwerpselen te verminderen, moet de stikstofaanbreng zo nauw mogelijk overeenstemmen met de stikstofbehoefte van het dier. Elk overschot aan aminozuren wordt gekataboliseerd en de vrijgekomen stikstof wordt als ureum (varkens) of urinezuur (pluimvee) geëlimineerd met de urine. Ureum of urinezuur wordt gemakkelijk omgezet tot ammoniak en koolstofdioxide door het urease-enzyme aanwezig in de feces. De stikstof die geëxcreteerd wordt met de feces is meestal gebonden in bacterieel eiwit en is minder onderhevig aan snelle decompositie.

Figuur 23. Schematische voorstelling van de stikstofbalans bij varkens.



In het onderzoek naar het afstemmen van de stikstofaanbod op de behoefte van de dieren, wordt meestal de impact op de stikstofexcretie en op de zoötechnische prestaties van de dieren onderzocht. De meeste gegevens die beschikbaar zijn in de literatuur verwijzen dan ook hiernaar. Slechts enkele auteurs onderzochten tevens het effect op de ammoniakemissie. Het merendeel van het onderzoek situeert zich bovendien op laboniveau. Daarenboven zijn de gegevens die terug te vinden zijn in de literatuur over de relatie tussen stikstofopname en ammoniakemissie of stikstofexcretie en ammoniakemissie niet altijd eenduidig. Resultaten en conclusies van verschillende auteurs zijn weergegeven in tabel 40.

Tabel 40. Literatuuroverzicht van de relatie tussen voederstrategie, stikstofexcretie en ammoniakemissie

Referentie	
<u>Van der Peet-Schwering et al., 1996</u>	Er bestaat een interactie tussen voeding en huisvesting voor wat betreft de ammoniakemissie per dierplaats per jaar.
<u>Van Vuuren en Jongbloed, 1994</u>	Een reductie in de stikstofuitscheiding in de urine, leidt bij een gelijk urinevolume, naar verwachting tot een vergelijkbare daling van de ammoniakemissie.
<u>Elzing et al., 1992</u>	Er is een lineair verband tussen de ureumconcentratie in de urine van melkvee en de ammoniakemissie uit rundveestallen.
<u>Latimier & Dourmad, 1993</u>	De (berekende) ammoniakreductie is gelijk aan de reductie in stikstofexcretie bij varkens gevoederd met een laag eiwit rantsoen.
<u>Turner et al., 1996</u>	De manipulatie van voedereiwwitten blijkt een geschikt middel te zijn voor de reductie van de ammoniakemissie en –concentratie in vleesvarkensstallen.
<u>Pollet, 1996</u>	Bij de berekening van de relatieve stalemissiecoëfficiënt (= percentage van de totale stikstof in de mest, die als ammoniak vanuit de stal vervluchtigt) uit de absolute stalemissiecoëfficiënt, wordt er gebruik gemaakt van de stikstofexcretiecoëfficiënt.
<u>Misselbrook et al., 1997</u>	Het reduceren van de ruwe eiwitinhoud van voeders, resulteert in een grotere reductie van de ammoniakvervluchtiging en de denitrificatie dan verwacht wanneer alleen de reductie in totale ammoniakale N inhoud beschouwd wordt, ten gevolge van veranderingen in andere mestkarakteristieken zoals pH en vluchtige vetzuren gehalte.
<u>Nederlandse beleidsnota mest- en verzuringsproblematiek, 1988</u>	Reductie van de ammoniakemissie wordt niet zozeer door maatregelen via het voeder gerealiseerd als wel door maatregelen tijdens opslag en bij aanwending.
<u>Kellems et al., 1979</u>	Er bestaat een positieve relatie tussen het rantsoen, ureumgehalte in de urine en de vervluchtiging van ammoniak bij vleesrunderen.
<u>Smits et al., 1995</u>	Verlaging van het ruw eiwitgehalte in melkveevoeding resulteert in een gereduceerde ammoniakemissie.

Nochtans wordt het aanpassen van de stikstofgift en de bijbehorende reductie van het stikstofoverschot in de mest, meer en meer beschouwd als een haalbare maatregel voor de reductie van de ammoniakemissie (Heinrichs & Oldenburg, 1993; Cahn et al., 1997a,b; Sutton et al., 1997). Zoals hierboven reeds vermeld zal het vooral de stikstoffractie in de urine zijn, die zijn invloed heeft op de ammoniakemissie, aangezien de fecale stikstof veel bestendiger is aan afbraak.

Volgens Cahn et al. (1998d) is er bovendien in het onderzoek naar het effect van de reductie van het ruw eiwitgehalte op de ammoniakemissie (Latimier & Dourmad, 1993; Cole et al., 1996; Oldenburg & Heinrichs, 1996), weinig gedocumenteerd materiaal te vinden waarin het eigenlijke effect van het ruw eiwitgehalte op de ammoniakemissie wordt gekwantificeerd. Zij voerden daarom één van de weinige experimenten uit waarbij, zowel in labo- als praktijkomstandigheden, het effect van de rantsoensamenstelling op de ammoniakemissie uit varkensmest werd onderzocht. De resultaten van dit onderzoek toonden aan dat een aanpassing van de stikstofgift een verlaging van de ammoniakconcentratie en een aanzienlijke reductie van de ammoniakemissie teweegbrengen en dit zowel in labo- als praktijkomstandigheden. Deze resultaten impliceren bovendien dat metingen van de ammoniakemissie op laboschaal een goede benadering kunnen zijn van de praktijksituatie. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de praktijkstal een stal is waar reeds emissiebeperkende stalsystemen werden ingevoerd. Specifiek onderzoek naar het belang van het huisvestingssysteem op de relatie stikstofgift en ammoniakemissie bij vleesvarkens werd in het praktijkonderzoek van Van der Peet-Schwering et al. (1996) onderzocht. In een traditioneel stalsysteem werd geen eenduidige proportionele relatie gevonden tussen de mate van reductie van de stikstofexcretie door verminderd eiwitaanbod en reductie van de corresponderende ammoniakemissie. In een reeds aangepast huisvestingssysteem daarentegen, daalde ten gevolge van een verlaagd eiwitaanbod de stikstofexcretie met 14.7% en de ammoniakemissie met 16.8%. Dit experiment wordt verder besproken.

5.1.2.1.1.1 *Eiwitverlaging met supplementatie van aminozuren*

Methode

De meest efficiënte manier om minder overtollige stikstof in het milieu terecht te laten komen, is het verlagen van het eiwitgehalte in het rantsoen. Deze verlaging is slechts mogelijk zolang de prestaties van de dieren niet in gedrang komen.

In commerciële voeders zijn de aminozuren, met uitzondering van de meest gelimiteerde, meestal in overmaat aanwezig. De grondstoffen gebruikt in praktijkvoeders bevatten immers een aminozuursamenstelling die niet exact overeenkomt met de aminozuurbehoefte van de dieren. Om toch voldoende essentiële aminozuren via het voeder te verstrekken, wordt daarom het ruw eiwitgehalte opgedreven zodat zeker alle essentiële aminozuren in voldoende mate aanwezig zijn.

Door gebruik te maken van synthetische aminozuren kan men het rantsoen uitbalanceren en laten overeenstemmen met de behoefte van het dier. Op deze manier kan men het eiwitgehalte in het voeder en bijgevolg ook het overaanbod aan eiwit sterk reduceren. De synthetische aminozuren worden toegevoegd aan het eiwitarm voeder, zodat er voldoende aanbreng is van de hoogst noodzakelijke aminozuren. (In eerste instantie lysine en methionine, later ook threonine, tryptofaan, valine, histidine en arginine.) Hierbij moet gestreefd worden naar een zo goed mogelijke benadering van het ‘ideale eiwit’ en mogen de zoötechnische prestaties niet in het gedrang komen.

Reductiepotentieel

Vleesvarkens

Voor vleesvarkens blijkt uit de literatuur, dat er per 1% reductie van het ruw eiwitgehalte in het voeder, een gemiddelde reductie van de stikstofexcretie in de mest van 8.4% verwezenlijkt kan worden (tabel 41). Dit is in overeenstemming met het onderzoek van De Schrijver en Vande Ginste (1998), waarin algemeen besloten wordt, dat bij iedere verlaging van het ruw eiwitgehalte in het rantsoen met 1%, de stikstofexcretie met 6 tot 10% vermindert, al naargelang het aminozuuraanbod en/of de kwaliteit van het voedereiwit (tabel 42).

Tabel 41. Effect van de reductie van het ruw eiwitgehalte in voeders met supplementatie van aminozuren op de stikstofexcretie in de mest van vleesvarkens.

	Klassiek voeder R.E.* (%)	Eiwitarmvoeder + az R.E. (%)	Reductie van de N-excretie (%)	Bron
Groeifase	17.0	14.6	-	<i>Van Oeckel et al., 1998</i>
Afmestfase	12.1	12.1		
Groeifase	20.8	16.1	39.6	<i>Lee & Kay, 1998</i>
Afmestfase	18.9	14.0	40.6	
Groeifase	17.8	16.2	26.3	<i>Latimier & Dourmad, 1993</i>
Afmestfase	17.1	13.5		
Groeifase	17.8	15.6	20	<i>Schutte et al., 1993</i>
Groeifase	16	16	18	<i>Heinrichs & Oldenburg, 1993</i>
Afmestfase	17	13.5		
Groeifase	18.6	12.9	39	<i>Fremaut & De Schrijver, 1990</i>
Afmestfase	16.5	12.9		
Groeifase	16.5	12.5	27-31	<i>Cahn et al., 1998d</i>
Afmestfase				
Groei- en afmestfase	16.5	14.5	20	<i>Anonymous, 1994</i>

*R.E. = Ruw Eiwit

Tabel 42. Effect van de reductie van eiwitgehalte in voeder op de N-retentie en excretie van vleesvarkens (De Schrijver and Vande Ginste, 1998.)

Eiwitgehalte in voeder (%)	Stikstofopname (kg/dier)	Stikstofretentie (kg/dier)	Stikstofexcretie (kg/dier)
18 (100%)	7,63	2,08	5,55 (100%)
16 (89%)	6,76	2,10	4,66 (84%)
14 (78%)	6,02	2,08	3,94 (71%)

Ook in experimenten waarin het resultaat van een verlaagde stikstofgift op de ammoniakemissie uit stallen werd gekwantificeerd, werden vergelijkbare reductiepercentages behaald. Cahn et al. (1998d) bestudeerden het effect van eiwitarm voeder op de ammoniakemissie uit varkensstallen met beperkte emissiereducerende stalsystemen (bolle betonvloer met metalen roosters, smal mestkanaal voor in het hok, breed mestkanaal achter in het hok, rioleringsysteem, ondiepe mestput onder de roosters). De drie onderzochte voeders hadden eenzelfde aminozuursamenstelling maar verschilden in ruwe eiwitinhoud (16.5, 14.5 en 12.5%). De ammoniakemissie werd gereduceerd met 10 tot 12.5% per verlaging van het ruw eiwitgehalte in het rantsoen met 1%. Vermindering van het ruwe eiwitaanbod in het voeder van 16.5 naar 12.5% reduceerde de ammoniakemissie uit de varkenstal met 50%. Analoge reducties werden bekomen door Kay and Lee (1997), die per percentage ruwe eiwitverlaging in het rantsoen 9.8% reductie van de ammoniakemissie bekwamen. In dit onderzoek werden de varkens gehuisvest in volrooster stallen met een gecontroleerd klimaat. Voeders met lage ruwe eiwitinhoud reduceerden het volume aan geproduceerde mest met

28% en dit zowel tijdens de groei- als afmestperiode, ook de ammoniakemissie werd verminderd met 58% en 46%, respectievelijk tijdens de groei- en afmestperiode. Voor vleesvarkens had de verlaging van het eiwitgehalte in zowel de aanloophase als in de afmestfase geen significant effect op de groei, voederopname en –conversie van de dieren, tenminste als er voldoende synthetische aminozuren toegevoegd werden.

Volgens de Nederlandse oplossingsrichtingen mest- en ammoniakproblematiek 1985-1994 (Productschap voor veevoeder, 1994) heeft het voeder dat momenteel het meest gebruikt wordt in de vleesvarkenshouderij een ruwe eiwitinhoud van ongeveer 16,4% (volgens informatie uit een telefonische enquête, is dit in overeenstemming met de Vlaamse situatie).

Vleeskuikens

Een experiment met vleeskuikens, uitgevoerd door Lippens et al. (1997), toonde aan dat het mogelijk is om minstens dezelfde zoötechnische resultaten te behalen met laageiwitrantsoenen (17%) als met een praktijkvoeder (21%). Dit wel onder de voorwaarde dat de aanvulling van synthetische aminozuren gebeurt tot op het niveau van het controlevoeder. Ten gevolge van een toegenomen N-retentie (32%) leverde het laageiwitvoeder een belangrijke bijdrage tot de verlaging van de N-excretie. De toepassing van laageiwitvoerders leidde echter ook tot een verhoogde vetaanzet. Het effect op de ammoniakemissie uit de stal werd niet onderzocht.

Ferguson et al. (1998) onderzocht eveneens het effect van verlaagd eiwitvoeder op de ammoniakemissie in vleeskippenstallen (reductie van het ruw eiwitgehalte met 1.6% voor het startvoeder en 1.9% voor het afmestvoeder). Toediening van een eiwitarm voeder had een significante reductie van de stikstofexcretie in de mest tot gevolg (16.3%), maar er werden geen significante verschillen met betrekking tot de ammoniakemissie gemeten.

Leghennen

Volgens den Hartog en Voermans (1994) liggen de mogelijkheden om via veevoedkundige maatregelen tot een verlaagde stikstofexcretie bij leghennen te komen, voornamelijk op het vlak van de toepassing van synthetische aminozuren. Het Nederlandse productschap voor veevoeder onderzocht in het kader van oplossingsrichtingen mest- en ammoniakproblematiek 1985–1994 door middel van productieproeven, hoe sterk, bij

gelijktijdige aanvulling met (bio)-synthetische aminozuren, het eiwitgehalte in maïs-soja rantsoenen kon worden verlaagd zonder nadelige consequenties voor technische resultaten. Voor leghennen zou een verlaging van het ruw eiwitgehalte van gemiddeld 17% tot ongeveer 15% mogelijk zijn en dit zonder toevoeging van vrije aminozuren. Deze reductie in het eiwitaanbod, leidde tot een reductie in de N-uitscheiding van circa 20%. Door toevoeging van lysine en methionine, kon het eiwitgehalte in het voeder tot 13.5% gebracht worden, maar dit veroorzaakte een verlaging van de productieresultaten met circa 2%.

Kosten

Door het gebruik van dure synthetische aminozuren, is een « ideaal » laageiwitvoeder betrekkelijk duurder dan een klassiek commercieel voeder. Volgens De Vriendt (1999) is het gebruik van deze voeders momenteel, omwille van te hoge kostprijs, economisch moeilijk te verantwoorden. De kostprijs van het varkensvoeder zou immers met 10 tot 15% stijgen. Lippens et al. (1997) spreekt voor kippenvoeders zelfs over een toegenomen kostprijs van 50% en meer. Het gebruik van laageiwit voeders kan slechts economisch mogelijk gemaakt worden, indien hier een financiële tussenkomst van de overheid tegenover staat (De Vriendt, 1999). Bovendien zal dan de vraag naar synthetische aminozuren stijgen en zullen ze in grotere hoeveelheden geproduceerd worden, wat de kostprijs drukt.

In tabel 43 is er een indicatie gegeven van de relatieve kostprijsverhogingen van laag eiwit vleesvarkenvoeders. Hieruit blijkt dat, gerekend met een referentieprijs van 9.24 BEF/kg voeder en een voederopname van 244 kg per afgemest vleesvarken (25-105kg), een kostprijsverhoging met 10% een meerkost per geproduceerd varken van 225 BEF (of meer dan 2 BEF per kg geslacht gewicht) betekent. Aangezien de reductie van het ruw eiwitaanbod met 4%, een reductie van de ammoniakemissie van 40 tot 50% zou kunnen opleveren (zie hierboven), betekent dit een kostprijsverhoging van de productieprijs van 12% of een meerkost per geproduceerd varken van 205 BEF. Hijgevolg bedraagt de reductiekost van een kg ammoniak per vleesvarkensplaats per jaar 562 - 702 BEF (reductie van de ammoniakemissie met 40-50%).

Tabel 43. Relatieve kostprijsverhogingen voor de productie van laag eiwit vleesvarkenvoeder t.o.v. een referentievoeder met 17% ruw eiwit, september '99 (Van Hofstraeten, 1999)

% Ruw Eiwit	Kostprijs
17	Referentie
16	+ 1%
15	+ 3%
14	+ 7%
13	+ 12%
12	+ 19%

Er dient wel opgemerkt te worden dat deze kostprijsberekening een momentopname is, daar zowel de prijzen van veevoerders als van synthetische aminozuren zeer dynamisch en aan sterke prijsschommelingen onderhevig zijn. De prijzen van de synthetische aminozuren zijn momenteel enorm gestegen doordat de producenten van synthetische aminozuren waarnemen dat er onderzoek gedaan wordt naar de mogelijkheden van eiwitarme voeders. Daarenboven zijn sommige aminozuren nog niet commercieel beschikbaar, waardoor deze verhandeld worden aan apothekersprijzen. Bovendien weegt enerzijds de mestheffing, die gehanteerd wordt in het kader van het mestactieplan, niet op tegen de kostprijs van eiwitarm voeder, waardoor er geen financiële prikkel is die het gebruik van synthetische aminozuren aanvaardbaar maakt bij de boer. Anderzijds zijn de eiwitbronnen momenteel goedkoop tot zelfs zeer goedkoop en wordt er daarom liever gewerkt met eiwit van mindere kwaliteit dat in grotere hoeveelheden aan het voeder toegevoegd wordt om aan de eiwitbehoefte van het dier te voldoen.

5.1.2.1.1.2 *Meerfasenvoeding*

Methode

Bij meerfasenvoeding worden er, in plaats van één voeder voor de ganse productieperiode, twee of drie voeders aangeboden. Deze voeders zijn beter afgestemd op de specifieke behoefte van het dier in de betreffende periode, waardoor er minder stikstof uitgescheiden wordt. Bij groeiende dieren, zoals vleesvarkens en vleeskuikens, daalt de nutriëntenbehoefte

naarmate de dieren ouder worden. Bij volwassen, producerende dieren (fokzeugen en leghennen) is de nutriëntenbehoefte afhankelijk van productie- en levensfase.

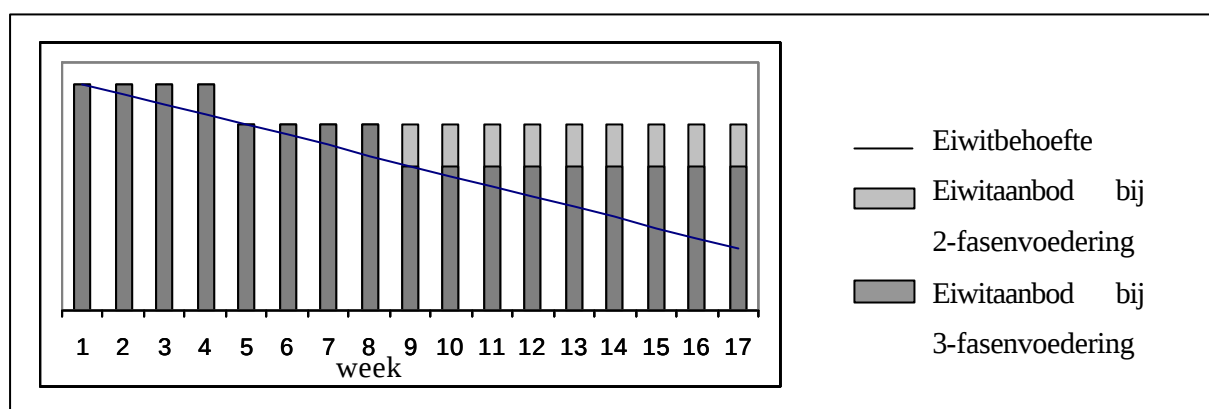
In de Vlaamse vleesvarkenshouderij wordt doorgaans gebruik gemaakt van een tweefasensysteem, bestaande uit een groeifase tussen 25 en 45 kg en een afmestfase tussen 45 en 105 kg. Hierbij wordt gemiddeld slechts 35% van het opgenomen eiwit benut. Een deel van dit aminozuur- en eiwitoverschot kan weggenomen worden door, vanaf een levend gewicht van 70 kg, een tweede afmestvoeder aan te bieden met een verlaagde ruwe eiwitinhoud. Dit is het systeem van driefasenvoeding (figuur 24).

Bij fokzeugen wordt er, bij het tweefasenvoedersysteem, een aangepast voeder gegeven tijdens de dracht- en de lactatieperiode. Bij toepassing van een driefasenvoeder wordt het voeder voor de dracht opgedeeld in een voeder voor de eerste 90 dagen van de dracht (vroeg dracht) en een voeder voor de laatste 25 dagen van de dracht (late dracht). In de Vlaamse zeugenhoudery wordt voornamelijk gebruik gemaakt van het tweefasensysteem (drachtzeugenvoeder en lactozeugenvoeder). Het driefasensysteem wordt stilaan meer gebruikt en hier en daar treft men ook nog het éénfasensysteem aan.

Leghennen krijgen in plaats van één volledig legvoeder, twee voeders aangeboden. De omschakeling van het ene voeder naar het andere gebeurt op een leeftijd van ca. 36 weken.

Voor vleeskuikens worden er in plaats van twee (0-38 dagen, 38-43dagen), drie voeders gebruikt (0-14 dagen, 14-38 dagen, 38-43 dagen). In theorie wordt de 42 dagen durende mestronde opgedeeld in 3 blokken van 14 dagen, waarin de voeders toenemen in energie-inhoud, maar het gehalte aan lysine, methionine, cystine, fosfor en calcium afneemt. In feite is de derde ronde geïntroduceerd omdat in de afmestfase geen coccidiostaticum in het voer mag zitten.

Figuur 24. Schematische voorstelling van de eiwitbehoefte en het eiwitaanbod van verschillende voedersystemen bij vleesvarkens



Resultaten

Vleesvarkens

Volgens Lenis (1989) en Jongbloed en Coppoolse (1990) wordt in de vleesvarkenshouderij door het gebruik van driefasenvoeder het ruw eiwitaanbod met 0.5 tot 0.6% gereduceerd t.o.v. tweefasenvoeder, waardoor er een reductie van de stikstofexcretie in de mest van 6-7% kan bekomen worden. Ook Fremaut en De Schrijver (1989) behaalden analoge resultaten. Driefasenvoeder leverde hun een reductie van het ruw eiwitaanbod van 1.1% op, waardoor de stikstofconcentratie in de mest met 12.5% daalde. In de experimenten van Bens et al. (s.d.) werd, door het gebruik van driefasenvoeder, het ruw eiwitaanbod verminderd met 0.8%, wat een reductie van de stikstofexcretie van 7% opleverde.

Fokzeugen

Experimenten met fokzeugen (Lenis, 1989) toonden aan dat de stikstofexcretie bij gebruik van een verschillend voeder voor dracht en lactatie, 24% minder bedraagt dan wanneer er eenzelfde voeder gebruikt wordt voor beide periodes. Uit experimenten van Everts en Dekker (1993) kon besloten worden dat een rantsoen met lage stikstofinhoud tijdens de dracht en met hoge stikstofinhoud tijdens de lactatie, ongeveer 25% minder stikstofexcretie tot gevolg heeft in vergelijking met het gebruik van 1 conventioneel voeder (met hoge stikstofinhoud) voor de twee periodes samen. Bijkomend voordeel van tweefasenvoeder is de gereduceerde voederkost per zeug per jaar, omwille van de lagere kostprijs van het drachtzeugenvoeder.

Leghennen

Door leghennen in plaats van een volledig legvoer een tweefasenvoer (met toevoeging van de synthetische aminozuren lysine en methione) aan te bieden, wordt volgens de berekeningen van Coppoolse et al. (1990) de stikstofexcretie met 12% gereduceerd.

Kosten

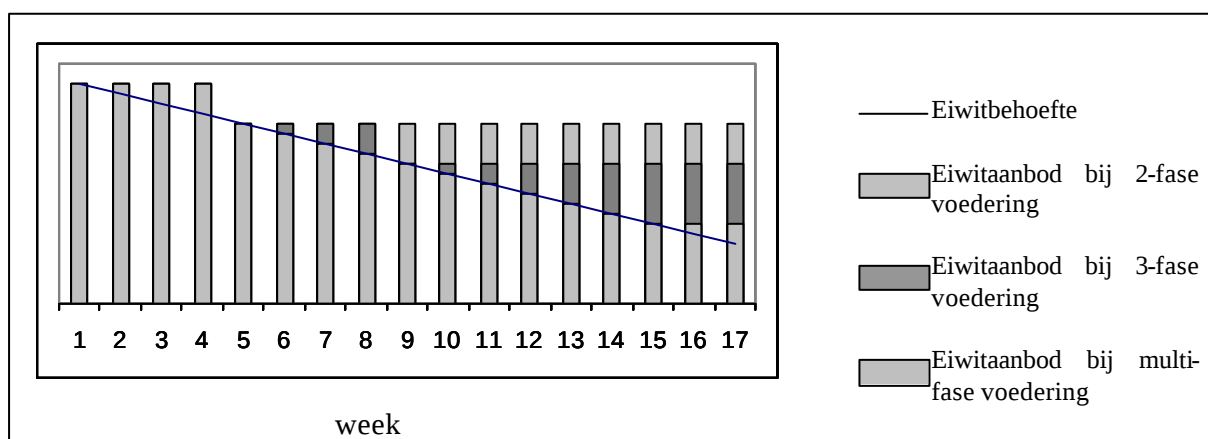
Volgens Fremaut et al. (1998) betekent het gebruik van driefasenvoeder bij vleesvarkens een extra investeringskost van 28 BEF/varkensplaats per jaar ten opzichte van tweefasenvoeder. Daartegenover staat de lagere voederkost tengevolge van het nauwkeuriger naar de behoefte voederen.

5.1.2.1.1.3 Multifasenvoeding

Methode

Bij het multifasenvoedersysteem wordt de samenstelling van het voeder wekelijks aangepast aan de actuele behoefte van het dier door een stikstofmineralen-rijk voer in wisselende verhoudingen te mengen met een stikstofmineralen-arm voer (zie figuur 25).

Figuur 25. Schematische voorstelling van de eiwitbehoefte en het eiwitaanbod van verschillende voedersystemen bij vleesvarkens



Het is de bedoeling om met multifasenvoeder, met minstens gelijkblijvende technische en economische resultaten, de mineralenexcretie zo ver mogelijk terug te brengen.

Resultaten

Vleesvarkens

Bens et al. (s.d.) realiseerden met multifasenvoeder 8% reductie van de stikstofexcretie ten opzichte van driefasenvoeder en 14.9% reductie ten opzichte van tweefasenvoeder (de gemiddelde gehalten aan ruw eiwit voor het twee-, drie- en multifasenvoeder, bedroegen respectievelijk 17.0%, 16.2% en 15.3%). Een belangrijk praktijkonderzoek werd uitgevoerd door Van der Peet-Schwering et al. (1996, 1997). Zij onderzochten de relatie tussen voeding en huisvesting voor wat betreft de ammoniakemissie per dierplaats per jaar. In een eerste experiment werd het effect van tweefasenvoeder in een traditioneel stalsysteem vergeleken met het effect in een aangepast stalsysteem (stalsysteem waar eenvoudige emissiebeperkende maatregelen waren uitgevoerd, om de kans op hokbevuiling zo laag mogelijk te houden: bolle betonvloer voorzien van antisliptegels en metalen driekantruster, smal mestkanaal voor in het hok, breed mestkanaal achter in het hok voorzien van een rioleringsysteem, ondiepe kelder van 40 cm alleen onder het rooster en een mestspleet van 10 cm achter in het hok.). In het traditioneel huisvestingssysteem daalde de stikstofexcretie met 12.5% en de ammoniakemissie met 3.5%, ten gevolge van het voederen met multifasenvoeder. In het aangepaste huisvestingssysteem echter werd via multifasenvoeder een reductie van de stikstofexcretie in de urine van 12.7% en 14.7% en van de ammoniakemissie van 10.8% en 16.8% bekomen, respectievelijk in een experiment zonder en met beperkte drinkwatervoorziening. Hieruit blijkt, dat in een aangepast stalsysteem inderdaad ammoniakemissiereductie via multifasenvoeder te realiseren valt, maar dat dit niet het geval is in traditionele huisvestingssystemen, aangezien hier geen eenduidig verband te vinden is tussen de reductie in stikstofuitscheiding en de reductie in ammoniakemissie. Van der Peet et al. (1999) besluit hieruit dat voedingsmaatregelen waarschijnlijk alleen in een optimaal huisvestingssysteem de ammoniakemissie reduceren.

Kosten

De kostenberekening werd, bij gebrek aan gegevens, enkel doorgevoerd voor multifasenvoeding bij vleesvarkens. Het gebruikte cijfermateriaal, met betrekking tot de kosten van voeder en voedersystemen, is voornamelijk afkomstig van Fremaut et al.(1998). Hierbij wordt er wel op gewezen dat de gebruikte kostprijsgegevens eerder illustratief beschouwd dienen te worden.

✓ *Invloed op de voederkost*

Volgens berekeningen van Fremaut et al. (1998), heeft het gebruik van meer- en multifasenvoeder tov. tweefasenvoeder een gunstig effect op de kostprijs van het voeder (zie tabel 44). De waarden in deze tabel werden berekend vertrekkende van volgende gegevens: voederkost tweefasenvoeder 9.24 BEF/kg voeder, driefasenvoeder 8.96 BEF/kg voeder, multifasenvoeder 8.93 BEF/kg voeder, 244kg voederopname per varken (25-105 kg). De kostprijs van voeder zal echter stijgen wanneer men het eiwitaanbod, door toevoeging van supplementaire aminozuren, verder wil reduceren.

Tabel 44. Voederkosten van een multifasensysteem bij vleesvarkens (Fremaut et al.,1998)

Systeem	Kostprijs voeder	
	BEF/vleesvarken	BEF/vleesvarkensplaats.jaar
Tweefasen	2255	5862
Driefasen	2186	5684
Multifasen	2179	5665

✓ *Jaarkosten van de voedersystemen*

Bij het gebruik van een aangepast voeder is er de nood aan een aangepast voedersysteem. De investering en jaarkosten van enkele van deze systemen zijn weergegeven in onderstaande tabel. Bij de berekening werd er uitgegaan van volgende modelsituatie: een stal van 1000 vleesvarkens (10 compartimenten van 110 dieren). Deze situatie kan als referentie dienen voor de huidige Vlaamse vleesvarkenshouderij (zie deel Stalsystemen).

Tabel 45. Investerings- en jaarkosten van voedersystemen (Fremaut et al, 1998)

Systeem	Investerings (BEF)	Jaarkosten (BEF)	Jaarkosten per varkensplaats (BEF)
Tweefasenvoeding	1.084.512	178.944	179
Multifasenvoeding (vijzel+silo's)	1.835.188	330.321	330
Multifasenvoeding (robot)	2.150.000	430.000	430
Multifasenvoeding (voedermengwagen)	398.327	65.723	66

Zoals de gegevens uit bovenstaande tabel laten zien, lopen bij multifasenvoeder de kosten bij het gebruik van een systeem met vijzels of een voederrobot per varkensplaats op tot

respectievelijk 330 BEF en 430 BEF. De jaarkost van een meefasensysteem met behulp van een voedermengwagen, ligt daarentegen slechts op 66 BEF per varkensplaats. Hierbij moet echter rekening gehouden worden dat voederen met een voedermengwagen extra werk vraagt aan de boer (ongeveer 1 uur). Wanneer ook deze arbeidskost mee in rekening wordt gebracht, betekent dit op jaarbasis een bijkomende kost van $365 \text{ uur} \times 450 \text{ BEF/uur} = 164.250 \text{ BEF}$. De totale jaarkost per varkensplaats voor multifasenvoeding met voedermengwagen, zal dan 230 BEF/varkensplaats bedragen. (Fremaut et al., 1998)

✓ *Jaarkost voor de reductie van 1 kg NH₃/vleesvarkensplaats via multifasenvoeder*

De gegevens met betrekking tot de ammoniakemissie ⁽¹⁾ tabel 46 en tabel 47) zijn afkomstig van de praktijkonderzoeken van van der Peet-Schwering et al. (1996,1997). Er werd een onderscheid gemaakt tussen aangepaste (tabel 46) en traditionele (tabel 47), omdat er, zoals in een vorige paragraaf reeds beschreven, volgens deze onderzoeken een relatie bestaat tussen de voeding en huisvesting voor wat betreft de ammoniakemissie.

Uit deze cijfers blijkt dat vooral in reeds aangepaste stalsystemen (tabel 46), het gebruik van multifasenvoeder een extra reductie van de ammoniakemissie kan betekenen zonder meerkost voor de boer. Het toedienen van multifasenvoeder met een voederrobot heeft, omwille van de hoge investeringskost, in een aangepaste stal een meerkost van 201 tot 129 BEF/kg NH₃/vpl.jaar en van 2361 BEF/kg NH₃/vpl.jaar in een traditionele stal. Deze gegevens hebben enkel betrekking op bovenvermelde voederprijzen en standaardstal. De geringste aanpassing van de voederprijzen zal resulteren in een verandering van de meerkost per kg NH₃/vpl.jaar.

Onder de hierboven vermelde voorwaarden kan volgens deze tabellen besloten worden dat het toedienen van multifasenvoeder met een voederwagen, buiten de extra arbeid, geen meerkost betekent voor de boer. De meerkost van toediening met silo en vijzel zal, afhankelijk van de voederkost, nul bedragen of beperkt blijven. Toediening van multifasenvoeder met een voederrobot heeft, door de hoge investeringskost, de grootste meerkost per kg NH₃/vpl.jaar.

Tabel 46. Jaarkost voor de reductie van 1 kg NH₃/vleesvarkensplaats met multifasenvoeder in aangepaste huisvesting tov. tweefasenvoeder

Systeem	Meerkost tov. 2- fasenvoeding	% NH₃ reductie tov. 2- fasenvoeding ⁽¹⁾	Reductie in kg NH₃/vpl.jaar	BEF/kg NH₃/vpl.jaar
Multifasenvoeding (vijnzel+silo's)	-45	10.8 – 16.8	0.27 – 0.42	0
Multifasenvoeding (robot)	+54	10.8 – 16.8	0.27 – 0.42	129-201
Multifasenvoeding (voedermengwagen)	-146	10.8 – 16.8	0.27 – 0.42	0

Tabel 47. Jaarkost voor de reductie van 1 kg NH₃/vleesvarkensplaats met multifasenvoeder in traditionele huisvesting

Systeem	Meerkost tov. 2 fasenvoeding	% NH₃ reductie tov. 2 fasenvoeding ⁽¹⁾	Reductie in kg NH₃/vpl.jaar	BEF/kg NH₃/vpl.jaar
Multifasenvoeding (vijnzel+silo's)	-45	3.5	0.085	0
Multifasenvoeding (robot)	+54	3.5	0.085	2361
Multifasenvoeding (voedermengwagen)	-146	3.5	0.085	0

Ook in de Nederlandse literatuur wordt het aanpassen van het voeder meer en meer beschouwd als een economisch haalbare manier om de ammoniakemissie uit varkensstallen te reduceren (Heinrichs & Oldenburg, 1993; Cahn et al., 1997a,b; Sutton et al., 1997). Hierbij dient de opmerking gemaakt te worden dat de Nederlandse vleesvarkenshouderij gekenmerkt wordt door grotere bedrijven met meer dieren (1840 vleesvarkensplaatsen volgens den Brok et al., 1997). Dit drukt aanzienlijk de jaarkosten per varkensplaats van de voedersystemen.. Dit wil ook zeggen dat het gebruik van het systeem van multifasenvoeder in kleinere stallen dan de standaardstal (1000 dieren) een hogere meerkost per kg ammoniakreductie betekent.

Tot slot dient er toch nog opgemerkt te worden dat het gebruik van tweefasenvoeder betere slachresultaten en bijgevolg een hogere prijs per kg slachtvarken zou opleveren dan multifasenvoeder. De studie van Fremaut et al. (1998) wees uit dat de hoogste winst gehaald werd met het klassieke tweefasenvoeder (770 BEF/varken in tegenstelling tot 558 BEF/varken in het multifasensysteem). Ook uit de proeven van van der Peet-Schwering et al. (1997), bleek dat de opbrengst per afgeleverd vleesvarken gevoederd via multifasenvoeding lager lag dan varkens gevoederd via tweefasenvoeding. Er zijn in de Belgische varkenshouderij eigenlijk nog te weinig proefgegevens beschikbaar om de juiste impact op de zoötechnische prestaties en de karkaskwaliteit in te schatten. Door de geringe veiligheidsmarges in het systeem van multifasenvoeding worden de dieren zeer dicht bij hun behoeftes gevoederd, wat het risico van tijdelijke tekorten aan aminozuren vergroot. Door de variatie in groei tussen dieren in een zelfde hok hebben de zwakste dieren uit de groep bovendien de kans om lichtjes ondervoed te worden. Hierdoor vraagt het multifasensysteem aan de boer extra opvolging van de dieren. Aangezien het groeipotentieel en de voederopnamecapaciteit van vleesvarkens zeer bedrijfsgebonden is, zal het gebruik van multifasenvoeding leiden tot een zeer bedrijfsspecifieke voedersamenstelling.

5.1.2.1.1.4 Combinatie van verschillende maatregelen

Naast de hierboven beschreven maatregelen, voerden Coppoolse et al. (1990) berekeningen uit waarin de verschillende maatregelen gecombineerd werden, zijnde drie- en multifasenvoeding met gereduceerd ruw eiwitgehalte en toevoeging van synthetische aminozuren. Bij deze berekeningen werd uitgegaan van mogelijkheden die volgens het onderzoek in de praktijk haalbaar zijn of haalbaar blijken in de toekomst.

Vleesvarkens

In deze berekeningen van Coppoolse et al. (1990) werd, door supplementatie met synthetische aminozuren, het eiwitgehalte van zowel drie- als multifasenvoeder verder verlaagd. Vergeleken met de stikstofexcretie bij het huidige driefasenvoeder, zou door toevoeging van de beschikbare aminozuren lysine en methionine, de stikstofexcretie met 13.6 en 18.1% kunnen gereduceerd worden, dit respectievelijk voor drie- en multifasenvoeder. Wanneer daarnaast ook andere, nog niet commercieel beschikbare aminozuren in voeders gebruikt worden en tegelijkertijd ook de grondstoffen met het oog op lage eiwitinhoud geselecteerd

worden, zou wellicht, voor respectievelijk drie- en multifasenvoeder, een verdere verlaging van de stikstofexcretie met 30.6% tot 35% mogelijk zijn. Hiervoor is echter nog verder onderzoek naar de behoefte aan aminozuren noodzakelijk.

In het praktijkonderzoek van Van den Weghe & Kaiser (1998) werden de dieren gevoederd met multifasenvoeder met een gereduceerde eiwitinhoud. Dit leverde in vergelijking met tweefasenvoeder een reductie van de ammoniakemissie van 19 tot 20% en van 39 tot 47%, respectievelijk voor wekelijks en dagelijks aanpassen van het multifasenvoeder.

Vleeskuikens

Ook voor vleeskuikens voerden Coppoolse et al. (1990) analoge berekeningen uit. Deze toonden aan dat door aanvulling van driefasenvoeder met zuivere synthetische aminozuren, de stikstofuitscheiding theoretisch met 12 tot 32% kan dalen ten opzichte van het referentie driefasenvoeder. De hoogste reductiepercentages werden berekend bij het gebruik van nog niet commercieel beschikbare aminozuren. Er werd wel opgemerkt dat de mogelijkheden om het eiwitgehalte te verlagen in vleeskuikenvoeders beperkt zijn doordat er problemen geconstateerd worden bij kwaliteitscriteria (Holsheimer, 1990).

Leghennen

Door het gebruik van tweefasenvoeder kan bij leghennen de stikstofexcretie met 12% gereduceerd worden ten opzichte van éénfasevoeder. Verdere verlaging van het eiwitaanbod door supplementatie van meerdere synthetische aminozuren (threonine en tryptofaan of threonine, tryptofaan, isoleucine, valine en arginine) zou de stikstofexcretie met respectievelijk 14% en 32% kunnen reduceren. (Coppoolse et al., 1994)

5.1.2.1.1.5 Verbeteren van de verteerbaarheid van de voeders

Enzymen (Easter et al., 1993)

Methode

Verteringsenzymen breken voedingsstoffen af. In vele omstandigheden zijn de hoeveelheden natuurlijke verteringsenzymen bij varkens en pluimvee echter te laag. Dit is vooral het geval bij pas gespeende biggen (Chapple, 1989). Daarenboven zijn niet-zetmeel polysacchariden

(NSP), cellulose, hemicellulose, pectinen en oligosacchariden, die voorkomen in veevoedergrondstoffen van plantaardige oorsprong, resistent aan verteringsenzymen (Low, 1985). Hierdoor komen deze fracties vrijwel vrijwel onverteerd terecht in de dikke darm, waar ze microbieel kunnen worden afgebroken. De afbraakproducten ammoniak en aminen worden geabsorbeerd en vervolgens met de urine uitgescheiden in de vorm van ureum. (den Hartog en Voermans, 1994). Door aan het voer voor éénmagige dieren industrieel geproduceerde cellulose splitsende enzymen toe te voegen, worden de celwanden afgebroken, waardoor de celinhoud met waardevolle voedingsstoffen vrijkomt. Doordat dit reeds gebeurt in de dunne darm, is de benutting van de voedingsstoffen hoger dan wanneer de celluloseafbraak pas in de dikke darm plaatsvindt.

Resultaten

Er zijn reeds veel experimenten uitgevoerd met betrekking tot de invloed van enzymen op de prestaties van de dieren, maar er zijn slechts weinig gegevens bekend over een verbetering van de verteerbaarheid van aminozuren (Jongbloed en Lenis, 1992). Volgens Schutte et al. (1990) zou de verteerbaarheid van de voedereiwitten met 8% verbeteren. Graham et al. (1986, 1989) daarentegen vonden geen significante verbetering van de niet-zetmeel polysacchariden en de eiwitten.

Eliminatie van anti-nutritionele factoren

Methode

Anti-nutritionele factoren (ANF) kunnen voorkomen in veevoedergrondstoffen, voornamelijk in zaden van vlinderbloemigen zoals erwten en bonen. Zij hebben een negatieve invloed op de stikstofverteerbaarheid van grondstoffen. Via technologische behandelingen kunnen de ANF's geïnactiveerd of gescheiden worden van het resterende product. Ook plantenveredeling kan mogelijkheden bieden om het gehalte aan ANF's te reduceren.

Resultaten

Volgens Coppoolse et al. (1990) zou door eliminatie van ANF's, de N-excretie met 4.5% verminderd worden.

5.1.2.1.2 De omzetting van ureum of urinezuur tot ammoniak beperken

5.1.2.1.2.1 *Aanzuren van de mest via het voeder*

Methode

Een andere mogelijke voedingsmaatregel is de toevoeging van organische zuren, verteerbare carbohydraten of andere stoffen aan het voeder om de pH van urine en mengmest te verlagen. Het verzuren van de mest heeft tot gevolg dat het evenwicht, dat in de mest bestaat tussen ammoniak en ammonium, verschuift naar de ammoniumkant: $\text{NH}_4^+ \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$. Bijgevolg neemt de ammoniakconcentratie in de mest af en is er een verminderde ammoniakemissie.

Door toevoeging van verteerbare carbohydraten aan het varkensvoeder, worden er door microbiële fermentatie vluchtige vetzuren gevormd in de laatste delen van het spijsverteringsstelsel van het varken (Imoto en Namioka, 1978; Salvador et al., 1993) en in de mest in de mestput (Spoelstra, 1979; Aarnink et al., 1994; Cahn et al., 1998b). De vluchtige vetzuren veroorzaken een pH-reductie van de mest en de urine en leiden tot een verminderde ammoniakemissie uit de mest. Bovendien veroorzaken deze verteerbare carbohydraten een shift van de stikstofexcretie van urine naar feces.

Resultaten

Carbohydraten

Cahn et al. (1998c) toonden aan dat toevoeging van 30% suikerbietpulp aan een varkensrantsoen, de ammoniakemissie met 47% reduceerde.

Organische zuren

Onderzoek van Cahn et al. (1998a) leverde een significante reductie van de pH van urine en mest op evenals een verminderde ammoniakemissie wanneer CaCO_3 in het rantsoen vervangen werd door CaSO_4 , CaCl_2 of Ca-benzoaat. Toevoeging van meer CaCO_3 aan het rantsoen verhoogde de mest-pH, wat resulteerde in een toegenomen ammoniakemissie. De ammoniakemissie werd gereduceerd met 33, 30 en 54%, wanneer respectievelijk CaSO_4 , CaCl_2 of Ca-benzoaat aan het rantsoen werd toegevoegd. Uit Nederlands praktijkonderzoek in vleesvarkensstallen (den Brok et al., 1997) is gebleken dat toevoeging van 1% en 2% van een mengsel van organische zuren aan respectievelijk start- en afmestvoer, in een aangepaste

huisvesting een ammoniakreductie van 40% teweeg bracht. De pH van de verse urine daalde van 7.5 naar 5.0 en de pH van de toplaag van de mengmest van 7.8 naar 7.0.

5.1.2.1.2.2 *Ureaseremmers*

Methode

Ammoniak wordt gevormd door de inwerking van urease op ureum of urinezuur, uitgescheiden door respectievelijk varkens en kippen. Urease is een enzyme dat door microben in de darm wordt geproduceerd en met de mest wordt uitgescheiden. Ureaseremmers verminderen de urease-activiteit, waardoor de omzetting van ureum of urinezuur in ammoniak verminderd wordt. Bepaalde extracten (sarsaponine) van de plant “*Yucca schidigera*”, blijken zo’n ureaseremmende werking te hebben, wanneer toegediend aan voederrantsoenen (Goodal & Matsushima, 1979; Preston et al., 1984). Daarnaast zouden ze ook instaan voor een verbeterde voederconversie, gewichtstoename en productieprestatie. Recent zou echter aangenomen worden dat dit Yuca extract zijn werking eerder uitvoert door binding van ammoniak dan door remming van de urease-activiteit.

Resultaten

Vleesvarkens

Reeds heel wat auteurs toonden reeds het belang aan van saponinen als voedersupplement voor de reductie van ammoniakemissie uit feces (Rowland et al., 1976; Foster, 1983; Brumm et al, 1985). Nederlands onderzoek bij vleesvarkens (Kemme et al., 1993) naar het effect van *Yucca schidigera* extract (MicroAid) op degradatie van het urease enzyme en vorming van ammoniak,gaf aan dat enkel toevoeging van grote dosissen MicroAid aan het rantsoen een detecteerbaar effect hebben op de reductie van de ammoniakemissie. De maximale ammoniakreductie (22%) werd bereikt bij toevoeging van 720 ppm extract aan het rantsoen.

Leghennen

Rowland et al. (1976) ondervonden dat met toediening van *Yucca schidigera* extract aan leghennenvoeder, een significante reductie van de stikstofuitscheiding en ammoniakemissie kon bekomen worden. De experimenten van Johnston et al. (1981) konden dit echter niet beamen.

5.1.2.1.3 Andere voederadditieven

Tot slot zijn er verschillende voederadditieven (groeipromotors, antibiotica, clinoptiloliet, voederenzymen, enz.) die inwerken op de endogene stikstofexcretie, op het vastleggen van ammoniak, enz. Ook deze kunnen bijdragen tot een verminderde stikstofexcretie.

5.1.2.1.3.1 Groeibevorderende stoffen: Bèta- agonisten

Methode

Bèta-agonisten staan vermoedelijk in voor een shift in de nutriëntenflow van de vetweefsels naar de spieren. Hun mogelijkheid tot het verlagen van de vetretentie en het bevorderen van de spieraangroei is een attractieve methodiek om de lichaamssamenstelling in vleesvarkens te veranderen (Bracher-Jacob en Blum, 1990). Naast hun efficiëntie als groeipromotor, dragen -agonisten ook in belangrijke mate bij tot de reductie van stikstofexcretie in varkensmest.

Resultaten

Volgens De Schrijver et al. (1991) hebben bèta-agonisten geen effect op de stikstofvertering. Ze zouden wel een effect hebben op het stikstofgebruik en –excretie. Over het algemeen hebben de experimenten met bèta-agonisten zich geconcentreerd op groeiverbetering, toch voorzien enkele studies ook in N balansen, die kunnen voorzien in kwantitatieve schattingen met betrekking tot reductie van de stikstofexcretie met de urine (tabel 48).

Tabel 48. Verbetering in dagelijkse stikstofdepositie en retentie bij een bèta-agonisten behandeling van 60 tot 100kg lichaamsgewicht voor vleesvarkens.

Experiment	N depositie	N retentie	
	(%)	(%)	(g)
De Schrijver et al.,1991	8.5	12.4	2.1
Bracher-Jacob and Blum, 1990	25.7	7.0	3.8
Van Weerden, 1987	24.0	7.0	3.4
Gemiddelde	19.4	8.8	3.1

5.1.2.1.3.2 Probiotica

Methode

Probiotica zijn levende microbiële voedersupplementen (Easter et al, 1993). Ze onderdrukken schadelijke kiemen en rottingsbacteriën waardoor gunstige bacteriën bevorderd worden. Hierdoor geven ze een betere groei en voederbenutting.

5.1.2.1.3.3 Antibiotica en Chemotherapeutica = anti-microbieel voederen

Methode

Antibiotica en chemotherapeutica worden aan het veevoeder toegevoegd om de groeiprestaties van de dieren te verbeteren. Experimenten toonden echter ook aan dat toevoegen van antibiotica aan het rantsoen resulteert in een verminderde ammoniakproductie door bacteriën en in minder intestinale massa (Vissek, 1978). Het gebruik van antibiotica en chemotherapeutica voor de reductie van de ammoniakemissie, is in België bij wet echter niet toegelaten. (Easter et al., 1993)

Resultaten

Toevoeging van voedingsantibiotica aan diervoeder heeft een toenemende verteerbaarheid van stikstof en aminozuren in de dunne darm tot gevolg. Ellis et al. (1983) en Thacker et al. (1992) vonden een kleine toename in zowel de eiwitvertering als -aangroei. Easter et al. (1993) toonden in hun berekeningen aan dat door toediening van antibiotica aan het voeder de eiwitopname per varken gereduceerd werd met 0.46 kg tijdens de startperiode en 0.95 kg tijdens de groei-afmestperiode.

5.1.2.1.3.4 Kleimineralen

Methode

Kleimineralen, zoals zeoliet en bentoniet, hebben de eigenschap om kationen, met name ammonium (NH_4^+), te binden. Door deze kleimineralen toe te voegen aan het voeder kan

NH_4^+ in de dikke darm gebonden worden en bijgevolg vindt er een verschuiving van de stikstofuitscheiding plaats van de urine naar de feces.

5.1.2.2 Herkauwers: rundvee

De reductie van de ammoniakemissie uit rundveestallen kan onrechtstreeks bekomen worden door de reductie van de stikstofverliezen door runderen. Rechtstreekse maatregelen om de ammoniakemissie te verminderen zijn de verlaging van het ureumgehalte in de urine en de verlaging van de pH van de urine.

5.1.2.2.1 Reductie van de stikstofverliezen

Veevoedkundige maatregelen kunnen bijdragen tot vermindering van stikstofverliezen in de pens. Dat deel van het in de pens gedegradeerde eiwit dat niet gebruikt wordt voor de synthese van microbieel eiwit wordt immers als ureum uitgescheiden met de urine. Het stikstofverlies in de pens zal minimaal zijn wanneer de onbestendige eiwitbalans nul bedraagt. Dit wil zeggen dat de hoeveelheid microbieel ruw eiwit, gevormd op basis van onbestendig eiwit, gelijk is aan de hoeveelheid microbieel ruw eiwit, gevormd op basis van energie. De onbestendige eiwitbalans kan verlaagd worden door de rantsoenen zo samen te stellen dat de stikstofafbraak vermindert terwijl de microbiële stikstofsynthese optimaal is.

Het zijn voornamelijk de voedermiddelen met een hoog eiwitgehalte met lage bestendigheid die stikstofverliezen in de pens veroorzaken. In tabel 49 zijn de eiwitgehaltenes (RE in g per kg droge stof) met bijbehorende bestendigheid (BRE in %) van enkele ruwvoerders weergegeven.

Tabel 49. Ruw eiwitgehalte en bestendigheid van enkele ruwvoerders (De Haan en Ogink, 1994)

Product	RE (g/kg D.S.)	BRE (%)
Vers gras, 1 juni	200	27
	250	23
Graskuil, 1 juni, 30% d.s.	175	24
	225	20
Graskuil, 1 juni, 50% d.s.	175	30
	225	25
Graskuil, 1 aug, 50% d.s.	225	29
Grashooi, 1 aug	225	42
Snijmaïskuil	90	28
Klaver	250	35
Luzerne	180	30

5.1.2.2.1.1 Reductie van stikstofgehalte in gras en grasgebaseerde producten

Een groot deel van het rundveerantsoen bestaat uit grassen en/of grasgebaseerde producten. Zoals uit bovenstaande tabel blijkt, bevatten grassen zo'n 20% eiwit, waarvan een belangrijk deel onbestendig wordt tijdens het inkuilproces. (De Haan & Ogink, 1994) Gras heeft daarenboven een hoge stikstof/energie verhouding waardoor niet alle stikstof volledig benut kan worden bij de microbiële eiwitsynthese.

De reductie van het stikstofgehalte in gras en graskuil kan bewerkstelligd worden door een vermindering van de stikstofbemesting van de graslanden. De stikstofaanvoer op de melkveebedrijven in de Antwerpse Kempen bleek immers voor 61% afkomstig te zijn uit kunstmest en voor 22% uit aangekocht voeder. (Hendriks, 1990) Een oordeelkundige bemesting verdient daarom alle aandacht met het oog op een vermindering van de stikstofexcretie naar het milieu. Uit tabel 50 blijkt dat de stikstofuitscheiding door rundvee potentieel kan teruggebracht worden met 7 tot 11% en 14 tot 20% door respectievelijk de stikstofbemesting per ha te verminderen van 400 naar 300 kg (maatregel c) en van 400 naar 200 kg (maatregel d). Ook tabel 51 toont dat de stikstofuitscheiding door melkvee daalt wanneer het ruw eiwit aanbod in het gras 180g/kg D.S. bedraagt in plaats van 200g/kg D.S..

Experimenten uitgevoerd door Rijpkema (1993) en Kappers & Rijpkema (1994) toonden aan dat door de geleidelijke vervanging van graskuil met een ruw eiwitgehalte van 22% in de droge stof door graskuil met 11% ruw eiwit in de droge stof, de onbestendige eiwitbalans weliswaar daalde met ruim 1 kg/dag, maar dat dit tevens gepaard ging met een daling in de voeropname en melkproductie.

Reductie van het stikstofgehalte in gras en graskuil kan ook bekomen worden door het later maaien van het gras. Voor het behalen van een optimale kwaliteit graskuil mag het immers gras niet te jong worden gemaaid. Jong gras bevat over het algemeen zeer weinig structuur waardoor er in de pens verzuring kan optreden. Ten gevolge hiervan worden de celwanden minder goed afgebroken en wordt het ruwvoer dus niet optimaal benut.

5.1.2.2.2 Rantsoensamenstelling

De controle op het stikstofverlies in de pens kan verbeterd worden door de keuze van voederingsrediënten en de voederstrategie (meer frequent voederen, verstrekken van volledig gemengde rantsoenen, de hoeveelheid ingekuilde producten in het voeder beperken) waardoor de vrijzetting van pensdegradeerbare stikstof en microbiële stikstofopname beter op elkaar kan afgestemd worden.

Gras of graskuil met een hoog gehalte aan onbestendig eiwit kunnen vervangen worden door voedermiddelen met een laag eiwitgehalte, al dan niet in combinatie met een hoge eiwitbestendigheid. Voorbeelden van voedermiddelen met een laag eiwitgehalte maar een hoog gehalte aan fermenteerbare koolhydraten zijn onder andere snijmaïskuil, maïskolvenkuil, maïsmeel, bietenpulp en sojapellen. Maïsvoeder reduceert enerzijds de stikstofopname en verbetert anderzijds het gebruik van de opgenomen stikstof. Zowel uit tabel 50 als tabel 51 blijkt dat het inschakelen van maïs in de weideperiode een zeer milieuvriendelijke werkwijze te zijn, met voor melkvee reducties van de stikstofuitscheiding van 7 à 8 % (tabel 50) tot 24 à 50% (tabel 51), al naargelang de rantsoensamenstelling. Tamminga (1992) maakt hierbij de opmerking stikstofopname door maïs slecht is wanneer de stikstof afkomstig is van mest of meststof toegediend in een dosis boven 150 kg/ha.jaar. De toedieningsdosis in België ligt hierboven. Ook voederbiet zou een geschikt mengvoedermiddel zijn. Meijer et al (1994) toonde echter in een aantal experimenten aan dat

door het gebruik van voederbieten in het melkveerantsoen, de droge stofopname en de melkproductie daalden. Voederbiet zou dus een minder geschikte energiebron voor melkvee kunnen zijn.

In tabel 51 zijn de potentiële reductiepercentages weergegeven in stikstofuitscheiding als gevolg van de hierboven beschreven maatregelen, zoals ze zijn doorgerekend door het Nederlands Informatie Kennis Centrum Veehouderij. (Anonymus, 1992) De reductiepercentages zijn weergegeven t.o.v. 1990. We gaan er hier echter vanuit dat er van de beschreven reductiemaatregelen momenteel nog niet veel gerealiseerd werden.

Tabel 50. De potentiële reductiepercentages in stikstofuitscheiding per dier voor melkvee, jongvee, vlees-, weide- en zoogkoeien en vleesstieren t.o.v. 1990. (Anonymus, 1992)

MAATREGEL	A	B	C	D	E	Totaal
Melkvee met snijmaïs	-	-	7	14	11	7-25
Melkvee zonder snijmaïs	7	8	9	17	7	10-27
Jongvee	13	-	10	20	1	10-29
Vlees-, weide- en zoogkoeien	14	-	11	20	2	11-32
Vleesstieren	-	-	-	-	12	12

Maatregelen:

- A *In de winter 50% graskuil vervangen door snijmaïs (alleen bij melkvee zonder snijmaïs).*
- B *In de zomer 3 kg d.s. snijmaïs per dier/dag (alleen bij melkvee zonder snijmaïs).*
- C *N-bemesting verlagen van 400 naar 300 kg per ha.*
- D *N-bemesting verlagen van 400 naar 200 kg per ha.*
- E *Verlaging van het onbestendige eiwitgehalte in krachtvoer.*

Tabel 51. Invloed van de eiwitsamenstelling van het rantsoen op de N-excretie door melkvee
(De Brabander en Boucqué, 1992)

<u>Rantsoensamenstelling</u>	<u>Laagproductieve melkkoeien</u>		<u>Hoogproductieve melkkoeien</u>	
	g N output/ koe.dag	Reductie van de N excretie t.o.v. rantsoen 1 (%)	g N output/ koe.dag	Reductie van de N excretie t.o.v. rantsoen 1 (%)
<u>Rantsoen 1 (= referentie):</u>				
Vers gras 200 g RE/kg D.S.				
(+KV*)	385	0	483 (a)	0
(+DrP*)	385	0	393 (b)	0
<u>Rantsoen 2:</u>				
Vers gras 180 g RE/kg D.S.				
(+KV)	338	12	443 (a)	8
(+DrP)	338	12	350 (b)	11
<u>Rantsoen 3:</u>				
Vers gras 200 g RE/kg D.S. + maïskuil 5 kg D.S. (+KV)	294	24	441 (a)	9
<u>Rantsoen 4:</u>				
Voordroogk. 170 g RE/kg D.S.				
(+KV)	305	21	500 (a)	+4
(+DrP)	305	24	366 (b)	7
<u>Rantsoen 5:</u>				
Maïskuil (+KV)	193	50	386 (a)	20
<u>Rantsoen 6:</u>				
Maïsk. + voordr. (50/50) (+KV)	243	37	449 (a)	7
<u>Rantsoen 7:</u>				
Voordr. +biet 4kg D.S. (+KV)	261	32	475 (a)	2
<u>Rantsoen 8:</u>				
Maïsk. +voordr. + persp. (+KV)	193	50	339 (a)	30
<u>Rantsoen 9:</u>				
Maïsk. + persp. 5.5 kg D.S. (+KV)	-	-	323 (a)	33

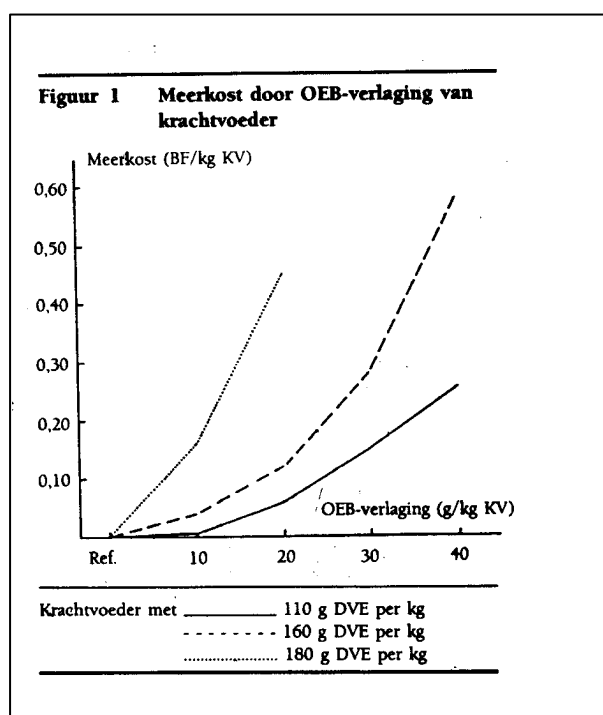
Legende: *+KV: uitsluitend gesupplementeerd met samengesteld krachtvoeder

*+DrP: waar mogelijk werd als alternatief droge pulp ingeschakeld, eventueel naast krachtvoeder

(a) en (b) in de verschillende rantsoenen worden respectievelijk met rantsoen 1(a) en 1(b) vergeleken.

De Brabander en Boucqué (1992) voerden met de geldende grondstoffen prijzen van juni 1991, een analyse uit naar de kostprijs van het verlagen van de OEB-waarde van

samengesteld krachtvoeder (figuur 26). Immers, een surplus aan OEB resulteert in een hogere hoeveelheid omzetting van ammoniak tot ureum in de lever en in een grotere ureumexcretie in de urine (CVB, 1991; Tamminga, 1992; Van Vuuren et al; 1993). De meerkost voor het verlagen van de OEB-waarde is afhankelijk van het DVE-gehalte van het krachtvoeder evenals van het niveau van verlaging. Wanneer voor evenwichtig krachtvoeder (110 g DVE/kg KV) een verlaging van 10 g OEB per kg krachtvoeder wordt doorgevoerd, bedraagt de meerkost hiervan 0.01 BEF/kg krachtvoeder. Bij eiwitrijk krachtvoeder (180 g DVE/kg KV) bedraagt deze meerkost 0.16 BEF/kg krachtvoeder.



Figuur 26. Meerkost van krachtvoeder ten gevolge van OEB-verlaging (De Brabander en Boucqué, 1992)

Wanneer er bij de rantsoenberekening een evenwichtig (110 g DVE) en eiwitrijk krachtvoeder (180 g DVE) wordt gebruikt, worden er als respectievelijke OEB-waarden 43 en 115 g per kg krachtvoeder bekomen. Een reductie van deze OEB-waarden met respectievelijk 40 g (43 → 3) en 20 g (115 → 95), heeft een kostprijs van 0.26 en 0.45 BEF per kg krachtvoeder. In tabel 52 is het effect van het gebruik van milieuvriendelijker krachtvoeder op de stikstofexcretie van hoogproductieve melkkoeien bij verschillende voederrantsoenen berekend. De stikstofexcretie zou ten gevolge van de hierboven beschreven maatregel met 9 tot 14% verlaagd worden (voornamelijk de stikstofexcretie met de urine), afhankelijk van de rantsoensamenstelling. Dit zou echter de voederkost met 1.9 tot 3.0 BEF per koe en per dag verhogen of met 694 tot 1095 BEF per koe per jaar.

Tabel 52. Invloed van milieuvriendelijker krachtvoeder op de N excretie van een hoogproductieve melkkoe met bijbehorende voederkost. (De Brabander en Boucqué, 1992)

Rantsoensamenstelling	N excretie Standaard krachtvoeder (g/koe.dag)	N excretie Milieuvriendelijk krachtvoeder (g/koe.dag)	Reductie N excretie (g)	Meerkost (BEF/koe.dag)
1. vers gras 200g RE/kg D.S.	521	474	9	1.9
2. vers gras 200g RE/kg D.S. + maïskuil 5 kg D.S.	441	393	11	2.0
3. Maïskuil	386	348	10	3.0
4. Voordroogkuil	532	458	14	3.0
5. Maïsk. + voordroogk.	449	390	13	2.9
6. Voordroogk. + biet 4 kg D.S.	475	412	13	2.6

5.1.2.2.2.1 Verlaging van het ureumgehalte in de urine

Vermindering van de totale stikstofuitscheiding door veevoedkundige maatregelen zal vooral zijn effect hebben op de ammoniakemissie, wanneer dit gepaard gaat met een vermindering van het ureumgehalte bij gelijke urineproductie. Daar ureum wordt afgebroken tot ammoniak, heeft de ureumconcentratie immers een directe invloed op de ammoniakconcentratie. Elzing en Kroodsma (1993) onderzochten het effect van de ureumconcentratie in de urine op de ammoniakemissie. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de urine en feces van koeien, gevoerd met 6 verschillende rantsoenen. Voor de emissiemetingen werd van elke behandeling 2 kg urine homogeen verdeeld over de roosters. Als maat voor de emissie werd de hoogte van de emissiepiek genomen, 2 uur na het aanbrengen van de urine. Hun onderzoek toonde aan dat de hoogte van de emissiepiek lineair afhankelijk is van de ureumconcentratie. Bijgevolg kan men concluderen dat de voederstrategie, via de ureumconcentratie in de urine, een directe impact heeft op de ammoniakemissie in de melkveestal.

De ureumconcentratie in urine hangt af van zowel de hoeveelheid geëxcreteerde ureum in de urine (die kan gereduceerd worden via een verlaagde OEB van het voeder, zie paragraaf hierboven) als van het volume geproduceerde urine. In veel van de maatregelen die leiden tot

een verlaagde stikstofexcretie, wordt echter niet enkel de stikstofinhoud van de urine verlaagd, maar neemt tegelijkertijd ook de urineproductie af, waarschijnlijk ten gevolge van een verlaagde kaliumopname. Hierdoor verandert de ureumconcentratie in de urine niet noemenswaardig. (De Haan en Ogink,1994)

In het stalexperiment van Smits et al. (1995) werd daarom bij een rantsoen met OEB van ongeveer 0 de urineproductie constant gehouden door aan het rantsoen extra natriumchloride toe te voegen. Het rantsoen met OEB gelijk aan 0, leidde tot een verminderde ammoniakemissie uit de stal van 40% ten opzichte van het controlerantsoen met een hogere OEB. Ook het ureumgehalte van het rantsoen met lage OEB lag ongeveer 40% lager.

5.1.2.2.3 Gebruik van productiever melkvee

Wanneer een koe meer melk produceert, wordt het aandeel van de behoeften voor onderhoud en ontwikkeling van de vrucht in de totale behoeften kleiner. Hierdoor wordt de behoefte aan darmverteerbaar eiwit (DVE) uitgedrukt per kg melk minder. Daarnaast krijgt een productiever dier een energierijker rantsoen, waardoor er een betere benutting plaatsvindt van het opgenomen ruw eiwit. Bijgevolg wordt er minder stikstof uitgescheiden. Dit zou, gebaseerd op het klassieke voederpatroon van melkvee in ons land, resulteren in een stikstofuitscheiding naar het milieu die, uitgedrukt per kg melk, circa 8% lager is bij een koe die 7000 kg in plaats van 6000 kg melk produceert.

5.1.2.2.4 Verlaging van de urine-pH

Wanneer de pH van de urine verlaagd wordt, daalt ook de urease-activiteit, hetgeen de omzetting van ureum tot ammoniak verlaagt.

5.1.3 Besluit

Er werd reeds heel wat onderzoek verricht naar de relatie tussen stikstofopname en de stikstofexcretie. Gegevens over de relatie tussen stikstofopname en ammoniakemissie of stikstofexcretie en ammoniakemissie in een bepaald stalsysteem zijn echter vrij schaars. Het merendeel van het onderzoek situeert zich daarenboven voornamelijk op laboniveau. Cahn et

al. (1998d) toonden echter aan dat metingen van de ammoniakemissie op laboschaal een goede benadering kunnen zijn van de praktijksituatie.

Uit de literatuurgegevens die voor handen zijn met betrekking tot de reductie van de ammoniakemissie via voeder, blijkt dat voor vleesvarkens een reductie van de ammoniakemissie kan bekomen worden van 10.8% - 16.8% (multifasenvoeder) tot 40 - 50% (laag eiwitvoeder). Gegevens over pluimvee zijn schaarser. Ferguson et al. (1998), die specifiek onderzoek uitvoerden naar de ammoniakemissie bij vleeskuikens, vonden wat betreft de ammoniakemissie geen significante verschillen tussen eiwitrijk en eiwitarm voeder.

In tabel 53 zijn de reducties van de stikstofexcretie en ammoniakemissie terug te vinden die op korte termijn haalbaar blijken met voedermaatregelen. Onder standaardvoeder wordt het voeder verondersteld dat momenteel in praktijk gebruikt wordt.

Vooraf het verlagen van het ruw eiwitgehalte in de rantsoenen, al dan niet gecombineerd met andere voedertechnieken, blijkt potentieel te hebben tot het verlagen van de ammoniakemissie uit varkensstallen. Het probleem ligt hier echter in de te hoge kostprijs van het laageiwitvoeder, waardoor het gebruik ervan in de Vlaamse praktijksituatie economisch moeilijk haalbaar is. Het gebruik van multifasenvoeder in aangepaste huisvesting lijkt beloftevol te zijn. Om het gebruik van multifasenvoeder in de Belgische varkenshouderij te promoten, zijn er echter nog te weinig proefgegevens beschikbaar om de juiste impact op de zoötechnische prestaties en de karkaskwaliteit van het Belgische varken in te schatten.

Bij de kostprijzen van de voedertechnieken is het echter noodzakelijk een aantal bemerkingen te maken. De cijfers zijn indicatief en hebben betrekking op een situatie waar de kostprijs van het ruw eiwit zeer laag is. Bij een stijging van de kostprijs van het ruw eiwit, betekent het gebruik van multifasenvoeder een extra besparing op de voederkost ten opzichte van tweefasenvoeder. Dit minimaliseert de meerkost van multifasenvoeder ten opzichte van tweefasenvoeder danig. Daarenboven werden deze berekeningen doorgevoerd voor een standaardstal met 1000 varkens. Het verkleinen of vergroten van de stal zal zijn invloed hebben op de investeringskosten.

Tabel 53. Stikstofexcretie- en ammoniakemissiereductiepotentieel van voedermaatregelen.

Diersoort	Standaardvoeder	Reductie-techniek	% reductie van de N-excretie	% reductie van de NH ₃ -emissie	Kostprijs
<u>VARKENS</u>					
Vleesvarkens	2 fasen	A	35-40	40-50	270 BEF/dier
		D ¹	12.7-14.9	3.5	0-2361 BEF/kg NH ₃ ,jaar
		D ²	12.7-14.9	10.8-16.8	0-201 BEF/kg NH ₃ ,jaar
<u>PLUIMVEE</u>					
Leghennen	1 fase	A	20		
		B	12		
Vleeskuikens	2 fasen	A	16.3		Voederkost +50%
<u>RUNDVEE</u>					
Melkvee		E	7-14		
		F	7-14		694 – 1095 BEF/koe,jaar
		G	7-50		
Jongvee		Totaal	7-30		
		E	10-20		
		G	13		
Vleesvee		Totaal	10-29		
		E	11-20		
		G	14		
Vleesstieren		Totaal	11-32		
		F	12		
		Totaal	12		

Legende:

A = Eiwitverlaging met supplementatie van commercieel beschikbare aminozuren; B = 2 fasenvoeding;

C = 3 fasenvoeding; D¹ = multifasenvoeding in traditionele stal; D² = multifasenvoeding in emissiearme stal;

E = reductie N-bemesting aan grasland F = reductie onbestendig eiwitgehalte in krachtvoeder;

G = vervanging van gras(kuil) door snijmaïs

* momentopname, gerekend met een referentieprijs voor de producent van 7.5 BEF/kg krachtvoeder.

De meeste gegevens met betrekking tot de reductie van de stikstofexcretie en de ammoniakemissie via voedermaatregelen zijn afkomstig uit de varkenshouderij. Vermoedelijk is het ook het meest zinvol om het onderzoek daarop te concentreren; varkensmest bevat immers een zeer hoog watergehalte (5-9%, Bries et al., 1997) en is daardoor moeilijk verwerkbaar. Het droge stofgehalte van kippenmest ligt veel hoger; drijfmest: 12%, vaste mest: 39-65% (Bries et al., 1997). Hierdoor wordt de verwerking zowel op technisch als economisch gebied eenvoudiger, waardoor de meeste mestverwerkinginitiatieven voor kippenmest opteren

De voederstrategie bij rundvee kan in belangrijke mate bijdragen tot de reductie van de stikstofexcretie (10-30%). Een groot deel van het rundveeantsoen bestaat uit grassen en/of grasgebaseerde producten. Deze geven vaak aanleiding tot grote stikstofemissies. Reductie

van het stikstofgehalte in grasproducten kan gerealiseerd worden door de vermindering van de stikstofbemesting van graslanden, wat een potentiële reductie van de stikstofexcretie van 10-20% tot gevolg heeft. Daarnaast kan de gehele of gedeeltelijke vervanging van gras of graskuil door voedermiddelen met een laag eiwitgehalte (maïskuil, bieten of bietenpulp) eveneens de stikstofexcretie aanzienlijk reduceren. Ook het gebruik van krachtvoerders met een lage OEB-waarde heeft een milieuvriendelijk effect (reducties van 7 tot 14%). Dit zal evenwel tot een hogere voederkost leiden. Verlaging van het ureumgehalte in de urine, ten gevolge van voeders met een lage OEB-waarde bij gelijke urineproductie, leidt tot een reductie van de ammoniakemissie uit melkveestallen met 40% (Smits et al., 1993 en 1995).

Zoals het onderzoek van Van der Peet-Schwering et al. (1996, 1997) reeds aantoonde, is er vooral nood aan praktijkonderzoek. Dit vooral door de interacties die tussen de verschillende systemen kunnen optreden (huisvesting – voeding). Uit hun experimenten bleek immers dat in een aangepast stalsysteem¹ inderdaad ammoniakemissiereductie via multifasenvoeder te realiseren valt, maar dat dit niet het geval is in traditionele huisvestingssystemen, aangezien hier geen eenduidig verband te vinden is tussen de reductie in stikstofuitscheiding en de reductie in ammoniakemissie. Van der Peet et al. (1999) besluiten hieruit dat voedingsmaatregelen waarschijnlijk alleen in een optimaal huisvestingssysteem de ammoniakemissie reduceren. Ook het experiment van Cahn et al. (1998), waar met een voeder met laag eiwitgehalte een reductie van de ammoniakemissie van 40 tot 50% bekomen werd, werd uitgevoerd in een aangepast stalsysteem. Dit in tegenstelling tot het onderzoek van Kay and Lee (1997), waarin een traditionele stal eveneens ongeveer een 50% reductie van de ammoniakemissie bekomen werd. Verder praktijkonderzoek dient hier uitsluitsel over te geven. Smits et al. (1995) maakten de opmerking dat wanneer zowel nutritionele als technische maatregelen toegepast worden met het oog op een reductie van de ammoniakemissie, het netto effect op de ammoniakemissie lager is dan de som van de afzonderlijke effecten.

¹ Stalsysteem waar eenvoudige emissiebeperkende maatregelen waren uitgevoerd, om de kans op hokbevuiling zo laag mogelijk te houden: bolle betonvloer voorzien van antisliptegels en metalen driekantrooster, smal mestkanaal voor in het hok, breed mestkanaal achter in het hok voorzien van een rioleringsysteem, ondiepe kelder van 40 cm alleen onder het rooster en een mestspleet van 10 cm achter in het hok.

5.2 Stalsystemen

In Nederland is reeds veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van emissiearme stalsystemen. Zo werd er de Stichting Groen Label opgericht. Het doel van het Groen Label is o.a. het stimuleren van verdere ontwikkeling van emissiearme systemen. Een beoordelingssysteem beslist over het al dan niet bekomen van een Groen Label (Hendriks H.J.M., 1997).

In dit hoofdstuk wordt in eerste instantie voor iedere diersoort een korte beschrijving van de 'standaardstal' gegeven. De 'standaardstal' is een welomschreven staltype dat inzake technische uitvoering, dimensies en kostprijs representatief is voor de huidige stal in de praktijk. De mogelijke integratie van reducerende technieken en stalsystemen en de bijgaande kosten zijn afhankelijk van de beschouwde standaardstal. Voor de bepaling van de standaardstal werd samengewerkt met Fedagrim (Belgische Federatie van de uitrusting voor de Landbouw, de Tuinbouw, de Veeteelt en de Tuin). In twee werkvergaderingen waaraan stallenbouwers (3), stalinrichting- (6) en betonfirma's (3) deelnamen werd voor de verschillende diersoorten een eerste versie van de standaardstal opgesteld. Deze versie werd vervolgens ter controle verstuurd naar 8 andere stallenbouwers om uiteindelijk tot de finale versie van de standaardstal te komen.

Na de beschrijving van de standaardstal wordt voor elke diersoort een opsomming gegeven van de nieuwe stalconcepten ter reductie van de ammoniakemissie, gevolgd door hun kostprijs. Aangezien het hier hoofdzakelijk over groen labelsystemen gaat, werd deze kostprijs berekend met als referentie de Nederlandse standaardstal. Het is de bedoeling om in de toekomst deze kostprijsberekening opnieuw uit te voeren met als uitgangssituatie de Vlaamse standaardstallen. Tot slot wordt de toepasbaarheid van de emissiearme systemen in de Vlaamse standaardstal en de controleerbaarheid van de systemen bekeken.

5.2.1 Rundveestallen

Runderen worden gehuisvest in volgende typen van stallen: bindstal, vrije loopstal en ligboxenloopstal. Bij deze systemen kan zowel vaste mest als mengmest geproduceerd

worden. Veelal worden deze stallen natuurlijk geventileerd. Dit bemoeilijkt het vaststellen van emissiefactoren en het evalueren van reductietechnieken. In Vlaanderen zijn er geen metingen uitgevoerd in rundveestallen. Met volgende emissiefactoren wordt momenteel gerekend:

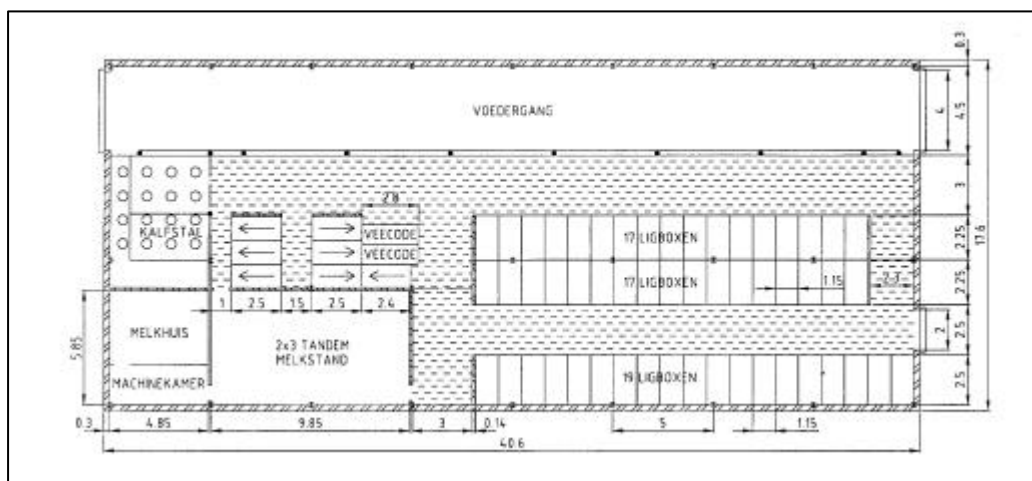
Tabel 54. Emissiefactoren (Pollet et al., 1996)

	Emissiefactor (kg NH₃/plaats.jaar)
Kalveren tot 6 m., vetmesting	1.5
Kalveren tot 6 m., andere	3.9
Jongvee 6 m. tot 2 j.: vetmesting	5.7
Jongvee 6 m. tot 2 j.: andere	3.9
Melkkoeien	8.8
Zoogkoeien	8.8
Vleesvee meer dan 2 j.	5.7

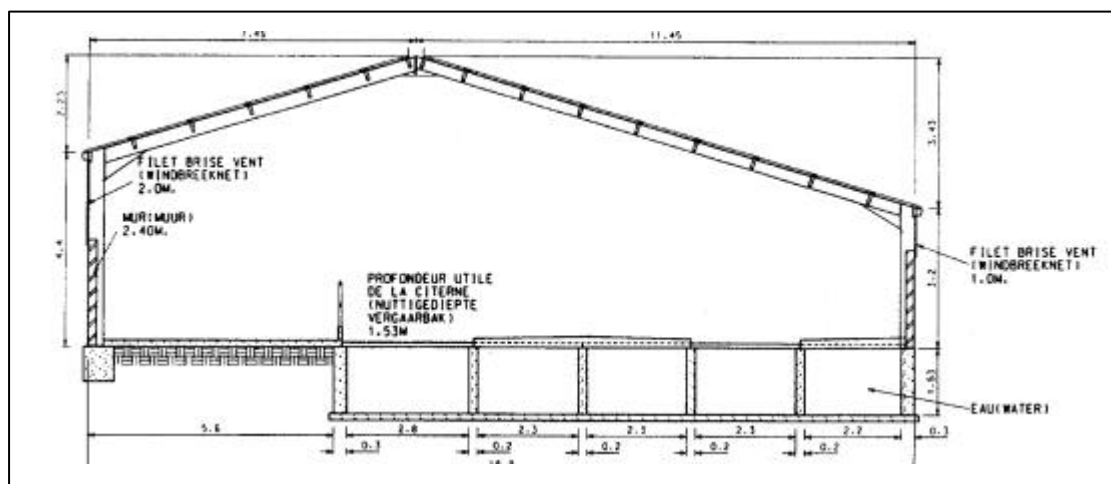
5.2.1.1 Standaardstal rundvee

De Vlaamse standaardstal voor melkvee is een ligboxenloopstal die huisvesting biedt aan 60 dieren. Ze meet 35 bij 22.5m. De 60 boxen staan drierijig opgesteld aan 1 zijde van de 5m brede voedergang. Aan de andere zijde van de voedergang bevindt zich nog een rij boxen voor jonge en droogstaande koeien. De enkelrijige boxen zijn 2.50m lang en 1.15m breed. Een dubbele rij ligboxen is 2 x 2.30m lang en 1.15m breed. De bevloering in de ligboxen is uitgevoerd in volledig beton met daarover een stalmat. De gang aansluitend op de ligboxenrij en tussen de twee rijen in bestaat uit een roostervloer in beton. De gang tussen de boxen is 2,50m breed en tussen de boxen en de voedergang 3m breed. De afkalfstal bestaat uit een losse ingestrooide box op rooster met drinkvoorziening en takel. De 2m diepe mestput bevindt zich onder de gehele oppervlakte van de stal. Het verstrekken van het krachtvoer gebeurt via 2 krachtvoederautomaten met aanvoerspiralen. De watervoorziening gebeurt met behulp van 4 drinkbakken. De stal wordt geventileerd door middel van natuurlijke ventilatie: windbreekgaas + open nok. Figuur 27 en 28 zijn voorbeelden van melkveestallen.

Figuur 27. Voorbeeld van een melkveestal (Maton et al.; 1983)



Figuur 28. Doorsnede van een melkveestal (Conitec)



5.2.1.2 Nieuwe concepten

Rundveestallen in Vlaanderen emitteren in totaal naar schatting 10616 ton ammoniak per jaar of 16% van de totale emissie door de veeteeltsector. Het beschikbare onderzoek naar ammoniakemissie en reductietechnieken bij rundvee werd uitgevoerd in loopstallen en werd vooral uitgevoerd in Nederland. De ammoniakemissie in dit soort stallen is afkomstig uit de mestkelder, naar schatting 40% van de totale emissie, of vanaf de met mest en urine bevuilde roosters of volle vloer (60% van de totale emissie).

De omstandigheden in de mest (temperatuur, mestsamenstelling, pH) bepalen de verhouding tussen het in het mestvocht opgeloste niet vluchtige ammonium (NH_4^+) en de vluchtige ammoniak. Zodra mest of met mest bevuilde oppervlakken met lucht in aanraking komen, kan ammoniak uit de mest ontwijken. De mate waarin dit gebeurt hangt o.a. af van de temperatuur en de lichtsnelheid over het bevuild oppervlak (Elzing et al., 1992).

Ontwikkelde reductietechnieken zijn gebaseerd op volgende maatregelen:

- aangepast ontwerp en constructie van de vloer;
- spoeling van de vloer;
- verzuring van de mest;
- alternatieve huisvestingsvormen.

De aangepaste vloeren hebben tot doel de gasuitwisseling tussen de mestput en de stallucht te minimaliseren door het contactoppervlak en de contactduur te verkleinen. Bij de constructie wordt getracht de vloer hellend aan te leggen en te voorzien van een toplaag voor een goede afvoer van de mest en de urine. Een mestschuif, al dan niet voorzien van een sproei-installatie, voert de mest en urine af via een mestafstort.

Het spoelen van de vloer gebeurt meestal in combinatie met een mestschuif. Het spoelen van de vloer zorgt enerzijds voor een snelle en grondige afvoer van urine en mest, anderzijds heeft er ook een verdunning van de mest plaats. De spoelfrequentie en de hoeveelheid vloeistof per spoeling zijn de twee belangrijkste parameters die de reductie-efficiëntie bepalen. De reducties variëren tussen 14% en 34% voor een waterverbruik van 20 l/dag.koe tot 50 l/dag.koe en een spoelfrequentie van ieder uur tot ieder twee uren (Kroodsma et al., 1993, Ogink en Kroodsma, 1996).

Het verlagen van de pH van de mest verschuift het $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$ evenwicht naar NH_4^+ , met een verlaagde vrijzetting van NH_3 tot gevolg. Het verlagen van de pH van de mest in de mestput tot 4-4.5 reduceert de ammoniakemissie met 37% (Bleijenberg et al., 1994). Een combinatie van aanzuren en spoelen met de aangezuurde mest kan de emissie met 51% reduceren (Kroodsma en Ogink, 1997).

Aangepaste stalconcepten voor de rundveehouderij werden in Nederland vooral ontwikkeld in het kader van het Groen Label. Momenteel zijn er een 8-tal Groen Label stallen beschikbaar:

1. 'Grupstal' met stalen rooster en drijfmest (Groen Labelnummer BB 93-06-009);
2. Ligboxenstal met dichte sleufvloer met gierafvoer en mestschuif (BB 97.05.055);
3. Ligboxenstal met dichte hellende vloer met snelle gierafvoer en mestschuif (BB 93.03.003);
4. Ligboxenstal met dichte hellende vloer met snelle gierafvoer en mestschuif (BB 93.03.003/D.94.06.020 V1);
5. Ligboxenstal met dichte hellende vloer met snelle gierafvoer en mestschuif (BB 93.03.003/C.93.04.006 V1);
6. Ligboxenstal met dichte hellende vloer met snelle gierafvoer en mestschuif (BB 93.03.003/B.93.04.005 V1);
7. Ligboxenstal met dichte hellende vloer met snelle gierafvoer en mestschuif (BB 93.03.003/A.93.04.004 V1);
8. Ligboxenstal met dichte hellende vloer met snelle gierafvoer en mestschuif (BB 93.03.003 V1);
9. Mestschuif en sproei-installatie op hellende prefab-betonnen vloer voorzien van gierafvoer voor melkvee (BB 94.02.015 V1).

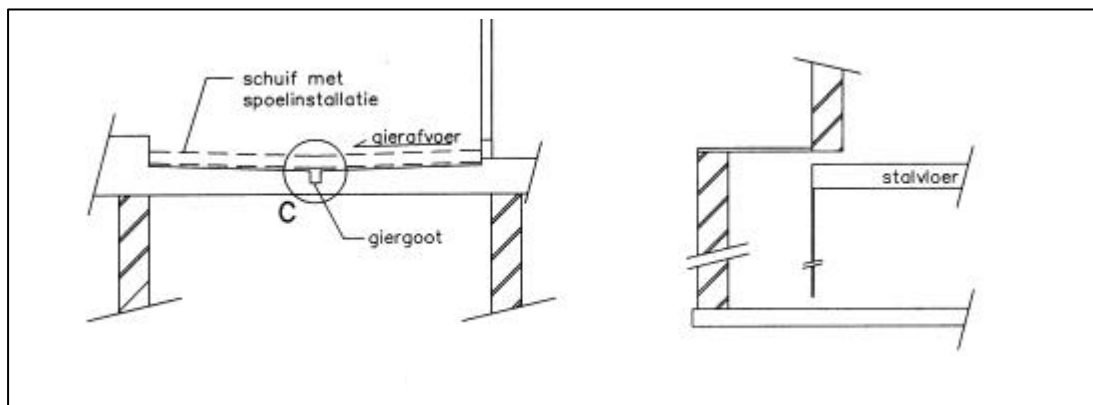
Deze stallen zijn enkel erkend door de stichting Groen Label voor melkvee en dus niet voor jongvee. De emissiefactor voor systeem 1 tot 8 bedraagt 4,4 kg/plaats.jaar. Uit het laatste systeem bedraagt de emissie 4 kg/plaats.jaar.

De 'grupstal' met stalen rooster en drijfmest is minder geschikt voor grote bedrijven en wordt daardoor minder toegepast in de praktijk.

De andere stallen zijn een combinatie van een hellende vloer en mestschuif voor de snelle afvoer van de mest. Een eerste combinatie wordt gevormd door een V-vormige gecoate vloer met een stalen giergoot, zie figuur 29. De vloer ligt onder een afschot van 3%. Verder is er een beperking in het oppervlak tot 3 m² per dier, en tenslotte is er een kettingschuif, voorzien van een sproeisysteem, die minimaal vijf maal daags schuift. Bij een kettinginstallatie worden de mestschuiven door middel van een hardstalen ketting, hoekwielen en een mechanisch

aandrijfsysteem voortbewogen. In dit systeem hoeft alleen gesproeid te worden wanneer de vloer te glad wordt.

Figuur 29. Dicht hellende vloer met giergoot en mestschuif (Groen Label BB93.03.003/A.93.04.004 V1)

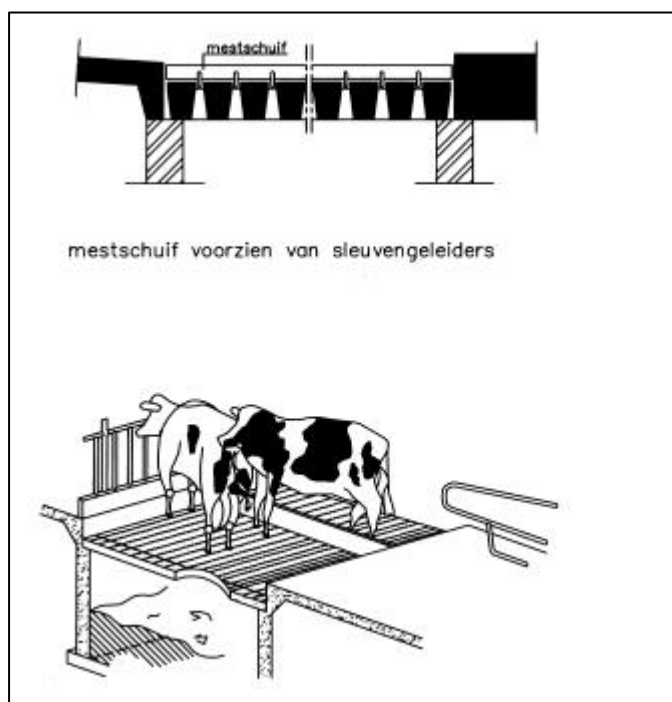


Een tweede systeem is een variant op dit systeem: de topvloer. De topvloer is een V-vormige vloer, met de V dwars op de lengterichting van de mestgang. Het is een licht golvende vloer. De vloer loopt over een meter 2,5 cm op naar de top en vervolgens weer 2,5 cm af naar de spleet. De combinatie ontstaat uit een hellende prefabvloer in de lengterichting van de mestgang, voorzien van een coating. De vloer ligt onder een afschot van 2,5%. Iedere twee meter lost de mest naar de onderliggende kelder. Vervolgens moet het oppervlak dat met mest kan worden besmeurd, met 3 m² beperkt blijven, en tenslotte schuift een autoschuif, die voorzien is van een sproeisysteem, de mest naar de kelder. Een autoschuif is een mestschuif die zichzelf voortbeweegt via twee wielen met luchtbanden, die aangedreven worden door een elektromotor. De schuif loopt minimaal twintig maal daags. Er hoeft in dit systeem alleen maar gesproeid te worden als de vloer te glad dreigt te worden.

Een derde systeem bestaat uit een vloer die naar één zijde helt. Het is een prefabvloer die onder een afschot van 3% naar één zijde ligt. Op de lage kant is een gierafvoerspleet gemaakt. De vaste mest wordt aan de beide uiteinden en op twee plaatsen onderweg in de onderliggende kelder geschoven. Het oppervlak per dier blijft beperkt tot 3,7 m². De autoschuif schuift minimaal ieder uur en sproeit met minimaal 15 l per dier per dag.

Het meest recente systeem is de sleufvloer. De sleufvloer bestaat uit dichte, vlakke betonplaten die over de mestkelder liggen, zie figuur 30. De platen liggen vlak en zijn voorzien van sleuven die evenwijdig aan het voerhek lopen. In de sleuven bevinden zich om de 1.10m perforaties. De totale oppervlakte van deze perforaties bedraagt 0.3% tot 0.6% van de totale loopoppervlakte. De vloer wordt schoongeschoven door een schuif (Kramer en Braam, 1997).

Figuur 30. Dichte sleufvloer met gierafvoer en mestschuif (Groen Label BB97.05.055)



Voor een gedetailleerde beschrijving van de Groen Label stallen kan verwezen worden naar de stalbeschrijvingen van het Groen Label. Uiteraard zijn deze Groen Label stallen commercieel beschikbaar. Het vaststellen van de emissiefactor van dergelijke stal vond plaats kort na de nieuwbouw van deze stallen. Het effect van slijtage of het bevuilen van vloer en schuiven is onvoldoende gekend. Verder zal de reductie-efficiëntie van deze stallen waarschijnlijk lager zijn bij een grootschalige toepassing in praktijkomstandigheden dan nu aanvaard wordt. Vooral de schuiven en de spoelinstallaties blijken veel onderhoud te vergen. Vaak worden deze systemen dan ook niet meer gebruikt na enkele jaren. Vloeren voorzien van een toplaag blijken vaak glad te zijn. Dit heeft een negatief effect op het welzijn en de productie van de dieren.

5.2.1.3 Kostprijs nieuwe concepten

De genoemde systemen vragen een investering die hoger liggen dan de kosten voor een traditionele stal. In vergelijking met een conventionele stal, waarbij de basisprijs ongeveer 100.000 BEF per koe bedraagt, zijn de bouwkosten van bovenvermelde emissiearme systemen 6% tot 20% hoger (zie tabel 55). Het investeringsniveau is dus iets hoger dan dat voor een klassieke roostervloer, maar is haalbaar in de praktijk (Sloff, 1994).

Tabel 55. Investering emissiearme stal en mestopslag voor 90 melkkoeien (Kramer en Braam, 1997)

Stalvloer	Mestopslag	Investering t.o.v. roostervloer
Roosters	Onder stal	100%
1-zijdig hellend	Onder stal	118%
2-zijdig hellend	Onder stal	115%
	Buiten stal	114%
Berg- en dal	Onder stal	100%
Sleufvloer	Onder stal	106%

Verder moet er rekening gehouden worden met extra kosten voor waterverbruik en het uitrijden van de mest bij het gebruik van sproei-installaties.

5.2.1.4 Toepasbaarheid in bestaande stallen

Al de Groen Label systemen zijn hoofdzakelijk gebaseerd op een aangepaste vloer. De verschillen zijn echter dermate dat men kan stellen dat de ombouw enkel kan bij een grondige renovatie van de stal. Verder moet er rekening gehouden worden met een licht aangepaste inrichting van de stal (vb. eisen naar beschikbare oppervlakte, stankafsluiter naar mestput, enz.).

5.2.1.5 Controleerbaarheid

De controle van de overheid op deze systemen is hoofdzakelijk gericht op de juiste constructie van het concept en gebeurt dus hoofdzakelijk bij de bouw van de stal. Bij ieder concept hoort een lijst met eisen aan de uitvoering. In deze eisen zijn opgenomen:

- Vloeruitvoering: helling, aanwezigheid giergoot, betonkwaliteit, ...;
- Schuifuitvoering: kwaliteit gebruikte materialen, frequentie sproeien, sproeivloeistof, frequentie schuiven (verzegelde teller), aansluiting schuif op vloer, ...;
- Emitterend oppervlakte: beschikbare oppervlakte per dier, aanwezigheid stankslot, afmetingen openingen voor afvoer mest en urine,

Verder kunnen er in de loop van de jaren nog bijkomende controles gebeuren; zoals de controle van de mestschuif (soms onderhoudscontract verplicht), controle op het regelmatig sproeien en schuiven, enz..

5.2.2 Varkensstallen

Varkensstallen zijn verantwoordelijk voor 26% van de totale ammoniakemissie in Vlaanderen. Dit betekent een emissie van om en bij de 17144 ton NH₃ per jaar. Volgende emissiefactoren worden aanvaard: zie tabel 56.

Tabel 56. Emissiefactoren voor varkensstallen (Pollet et al., 1996)

Emissiefactor in kg NH₃/jaar.plaats	Deelrooster stallen	Volrooster stallen
Kraamhokken	8.9	8.9
Dragende zeugen	4.2	4.2
Vleesvarkens	2.5	3.0

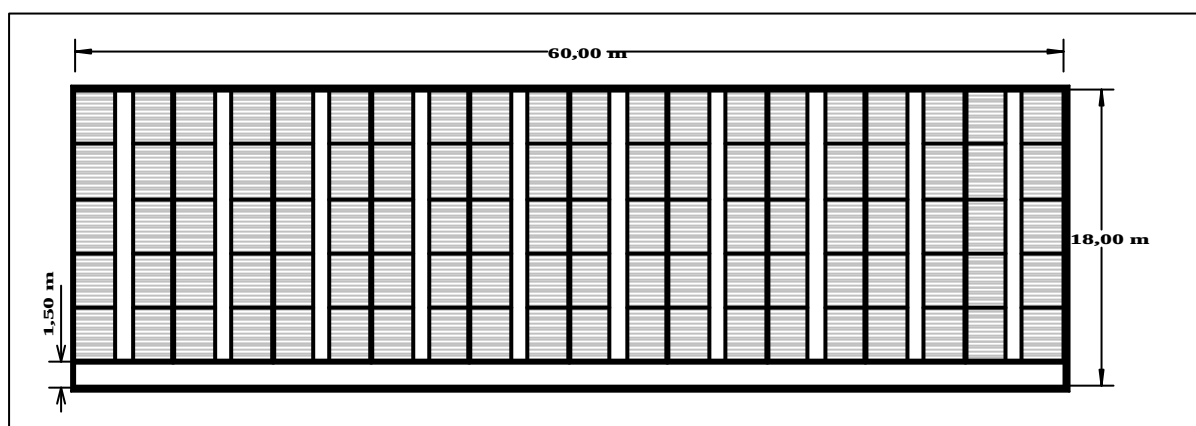
5.2.2.1 Standaardstal varkens

De Vlaamse standaardstal voor vleesvarkens biedt huisvesting aan 1000 dieren en meet 18m x 60m. De stal is onderverdeeld in 10 compartimenten, te bereiken via een zijdelingse gang van 1.50m breedte. Elk compartiment bestaat uit 10 hokken à 11 dieren met een centrale

voedergang van 0.80m breedte. De hokken zijn 3.25m breed en 2.5m diep. De varkens hebben ieder 0.7m^2 ter hun beschikking. De diepe mestopslag (2m) bevindt zich onder de gehele oppervlakte van de stal. De vloer in de hokken is een volroostervloer uit beton. De hokafscheiding is 1m hoog en uitgevoerd in beton. Voeder- en watervoorziening gebeuren door middel van een combivoederbak. De ventilatie is plafondventilatie.

Een voorbeeld van een vleesvarkenstal is weergegeven in figuur 31.

Figuur 31. Schets van de plattegrond van de standaardvleesvarkensstal



De standaardzeugenstal telt 200 plaatsen, waardoor er ongeveer 180 productieve zeugen kunnen gehuisvest worden. De biggen worden op 4 weken verspeend en verplaatst. De kraamstal telt 6 compartimenten, onderverdeeld in 10 hokken. De hokken zijn 2.4m breed en 1.7m diep. De kraamboxen zijn evenwijdig met de tussenmuren opgesteld en zijn opendraaibaar. De zeug zit los in de box, de biggen zitten tegen de gang. De kraamhokken zijn voorzien van een volledig kunststof roostervloer met een verwarmd biggenest (vloerverwarming). De kraamzeugen en biggen krijgen handmatig voeder verstrekt. Watervoorziening gebeurt via een bijnippel in de voerbak voor de zeugen en een drinkbakje voor de biggen. De kraamstal is volledig ondiep onderkelderd (0.8m) en voorzien van een mestafloop via de centrale gang naar de afdeling van de drachtige zeugen. De stal wordt geventileerd door plafondventilatie.

De biggenstal biedt plaats aan 600 biggen en bestaat uit 6 compartimenten met elk 8 hokken voor 12 biggen ($0.35\text{m}^2/\text{big}$). De biggen verblijven hier van 7 tot 35kg. De hokken zijn 1.5m

breed en 2.8m lang en zijn te bereiken via een zijdelingse voedergang van 0.8m breedte. De hokken zijn voorzien van een bolle vloer (40cm) met vloerverwarming en een kunststofrooster. De hokafscheiding is 1m hoog en bestaat uit kunststof. Het voeder en water wordt automatisch aan de biggen verstrekt door middel van een combivoederbak. Onder de biggenafdeling bevindt zich een ondiepe mestput (0.8m) met afvoer naar de drachtige zeugenstal. De stal wordt geventileerd door plafondventilatie.

De standaardstal voor dragende en guste zeugen heeft 10 plaatsen voor jonge zeugen, 40 plaatsen voor pas gedekte zeugen, 140 plaatsen voor dragende zeugen en 3 plaatsen voor beren. De diepe mestkelder (1.80m) bevindt zich onder de gehele oppervlakte van de stal. De stal wordt geventileerd door middel van inlaatkleppen met nokventilatoren.

De guste en pas gedekte zeugen bevinden zich in de dekstal. Deze bestaat uit een dubbele rij boxen met aan weerszijden een voercontrolegang (0.8m), uitgevoerd in dichte betonvloer. In totaal zijn er 40 boxen met een lengte van 2.25m en een breedte van 0.60m. De gang tussen de rijen is 1.50m breed. De vloer in het voorste deel van de box (achter de trog) is een dichte betonvloer (1.5m). Het achterste deel van de box evenals de tussengang is uitgevoerd met betonroosters. Het voeder wordt met een automatische zeugendoseerder verstrekt. Op de voerplaats is er een drinknippel.

Er zijn twee hokken (2.25m x 3.25m) voorzien voor jonge zeugen. De vloer in de hokken is een volroostervloer uit beton. Ook de hokafscheiding is uitgevoerd in beton. De voeding gebeurt automatisch met een individuele zeugendoseerder. Voor de watervoorziening is er een drinkbak.

Er zijn 3 berenhokken met een oppervlakte van 2.25m x 3.25m. De vloer in de hokken is volledig beton of deelroosterbeton. De hokafscheiding in beton is 1.2m hoog. Het voeder wordt mechanisch verstrekt met behulp van een individueel voedersysteem. Drinkwatervoorziening is door middel van een drinknippel op de voerplaats.

van aangepaste uitmestsystemen, zoals verschillende types van mestschuiven en spoelsystemen.

Ten aanzien van beperking van de emissie vanuit de mestkelder is het gunstig een zo klein mogelijk roosteroppervlak te kiezen; hoe kleiner het (open) mestoppervlak, hoe geringer de emissie. De kans op hokbevuiling wordt echter groter naargelang de verhouding oppervlak rooster: oppervlak dichte vloer kleiner wordt. Het is belangrijk van deze verhouding zorgvuldig te kiezen. Volgens Hoeksma et al. (1993) is de hokbevuiling het kleinst bij een volroosterstal. 0,4 m² volle vloer per vleesvarken kan reeds risico's inhouden (den Brok & Voermans, 1995). Volgens Aarnink (1997) kan in een hok met slechts 25 % roostervloer de hokbevuiling binnen de perken gehouden worden indien het hok goed ontworpen is en indien de inkomende lucht gekoeld wordt tijdens de zomer.

De emissie van de vloer hangt in belangrijke mate af van de snelheid en volledigheid waarmee de urine van de vloer afstroomt. De vloeruitvoering en de aard van het vloeroppervlak spelen hierbij een grote rol (Elzing et al., 1992). Door het dichte vloergedeelte hellend of bol uit te voeren kan de urine beter wegstromen. Indien het vloeroppervlak glad wordt afgewerkt zal er minder urine op de vloer achterblijven en zal de emissie minder groot zijn. De beloopbaarheid moet echter gewaarborgd blijven. Voor een snelle afvoer van de urine naar de mestkelder speelt tevens de afstand die de urine moet afleggen een rol. Deze afstand moet zo kort mogelijk zijn met behoud van een goede scheiding tussen lig- en mestruimte. Daar waar het voeder wordt verstrekt moet de dichte vloer worden gesitueerd, aangezien varkens in het algemeen ver van de vreetplaats mesten.

Het emitterend oppervlak van een roostervloer is sterk bepaald door het roostertype en door dat deel van het rooster dat bedekt is met een laagje urine. Dit kan zowel de bovenkant, de zijkanten als de onderkant betreffen.

Smalle dunne balken met ruime spleten tussen de balken kunnen het emitterend oppervlak verkleinen, omdat feces en urine beter worden doorgelaten. De Vries (1990) vond een emissieoppervlakte van 2,9 m²/m² roosteroppervlakte voor een betonnen balk van 10 cm met

een 2 cm spleet. De roostervloer bestaande uit een polyesterbetonbalk van 5 cm met een spleet van 2 cm, gaf een emissieoppervlak van 2,5 m²/m² roosteroppervlakte. Voor een metalen balk van 1 cm met een spleet van 1 cm werd een emissieoppervlak van 1,5 m²/m² roosteroppervlakte gevonden. De hoeveelheid urine die na een urinelozing op het rooster achterblijft kan worden beperkt door het roosteroppervlak glad af te werken of van een coating te voorzien. Door de bovenkant van de roosterbalken iets rond uit te voeren, zal er ook minder urine op achterblijven. Druipranden aan de zijkanten kunnen voorkomen dat de onderkant van het rooster met urine wordt bedekt. De uitvoering van de rooster hoeft niet voor het gehele roosteroppervlak gelijk te zijn. Daar waar de meeste mest wordt geproduceerd is een goede doorlaat belangrijker dan bij andere delen van het rooster. Varkens produceren de mest vooral in hoeken en langs de wanden, daar waar geen drinkbakje aanwezig is of een ander object dat veel activiteit bij de dieren veroorzaakt (Aarnink et al., 1993). Tegen de achterwand, waar de mest wordt geproduceerd, kan een spleet van 8 cm aangebracht worden.

Zacht metalen roosters kunnen de ammoniakvervluchtiging met bijna 30 % reduceren. Volgens Aarnink (1997) is deze reductie niet alleen toe te schrijven aan de kleinere hoeveelheid urine op de roosters maar ook aan een verlaagde urease activiteit op zacht metalen roosters.

Om de emissie vanuit de mestput te reduceren werden systemen als *mestschuiven en spoelsystemen* ontwikkeld. Bij het spoelmestsysteem wordt de mest opgevangen in ondiepe kanalen onder de stalvloer en wordt op geregelde tijdstippen (minstens 1 tot 2 maal per dag) vanuit die kanalen weggespoeld naar een verzamelput, met behulp van vloeistof uit een buiten de stal gelegen beluchtingsbekken.

Een snelle ontmesting is eveneens mogelijk door de mest onder de roosters uit de mestkanalen te schuiven. Mestschuiven zijn in diverse uitvoeringen op de markt. Om aan de voorwaarde van volledige mestverwijdering te kunnen voldoen, worden zeer hoge eisen aan de technische uitvoering van de schuif en het vloeroppervlak gesteld. De vloer dient volkomen egaal te zijn afgewerkt. Dit is praktisch alleen te bereiken door het aanbrengen van een coating op betonvloeren of het gebruik van kunststofvloeren. Bij een schuiffrequentie van enkele keren

per dag zijn in een stal met gespeende biggen reducties tot 81% geboekt (Groenestein, 1993). Er zijn echter aanwijzingen dat het reducerende effect op de emissie van schuiven in de tijd afneemt. Dit is mogelijk het gevolg van slijtage aan de schuif of hardnekkige bevuilding van het vloeroppervlak. Ander onderzoek heeft aangetoond dat schuiven bij vleesvarkens en drachtige zeugen de emissie niet reduceren. Goede resultaten bij de ene diersoort betekent dus niet zonder meer ook goede resultaten bij andere diersoorten. Het effect van schuiven op de emissie wordt mogelijk beïnvloed door de samenstelling van de mest.

Het Groen Label heeft geleid tot de ontwikkeling van een hele reeks van aangepaste stalconcepten. Hieronder volgt een overzicht van 24 beschikbare Groen Label (GL) systemen in de varkenshouderij. Ze zijn vooral gebaseerd op het verkleinen van het emitterende oppervlak, scheiding van urine en vaste mest, een snelle mestafvoer en een verlaging van de ammoniakconcentratie. Dit werd mogelijk door het gebruik van daartoe effectieve uitmestsystemen, zoals verschillende types van mestschuiven en spoelsystemen. Voor een gedetailleerde beschrijving kan verwezen worden naar de Groen Label stalbeschrijvingen.

Dragende zeugen

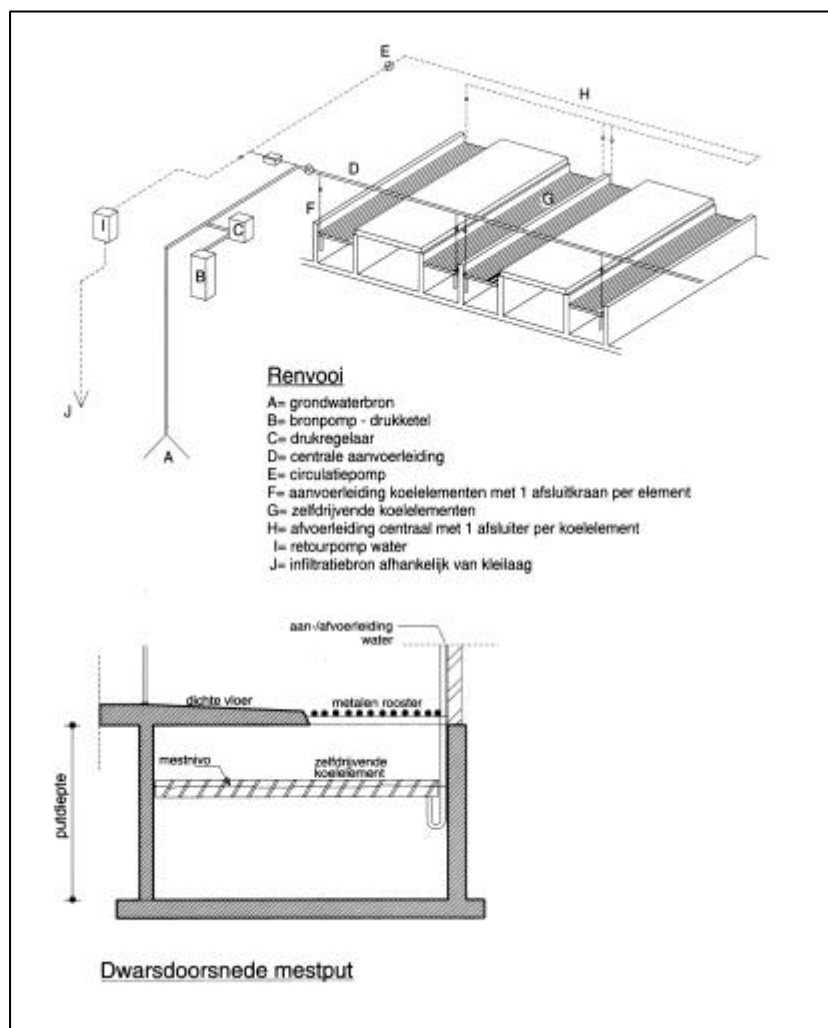
Voor dragende zeugen is de ammoniakemissie in traditionele huisvesting 4,2 kg NH₃/plaats/jaar. De GL-norm is 2,5 kg NH₃/plaats/jaar. De volgende systemen zijn beschikbaar voor individuele huisvesting (tussen haakjes de gemeten ammoniakemissie):

- WX spoelgoten: ondiepe V-vormige kunststofgoten onder de roosters; de mest wordt dagelijks weggespoeld met dunne fractie van bezonken zeugenmest vanuit een opslag (2,5 kg NH₃/plaats/jaar). Ook voor groepshuisvesting.
- Sondag mestgoot met een rioleringsysteem voor de mestafvoer (1,8 kg NH₃/plaats/jaar).
- Smal mestkanaal (60 cm), metalen roosters en mestopening (12 cm) onder het deurtje (2,4 kg NH₃/plaats/jaar).
- Mestopvang in- en spoelen met aangezuurde vloeistof (1,8 kg NH₃/plaats/jaar). Ook voor groepshuisvesting.
- Schuiven in mestgoot (2,2 kg NH₃/plaats/jaar).

- Koeldeksysteem, 115% koeloppervlak (2,2 kg NH₃/plaats/jaar). Voor groepshuisvesting: koeloppervlak van 135%.

Onderstaande figuur 33 geeft een overzicht van het koeldeksysteem voor dragende en guste zeugen.

Figuur 33. Koeldeksysteem (Groen Label BB97.03.054)



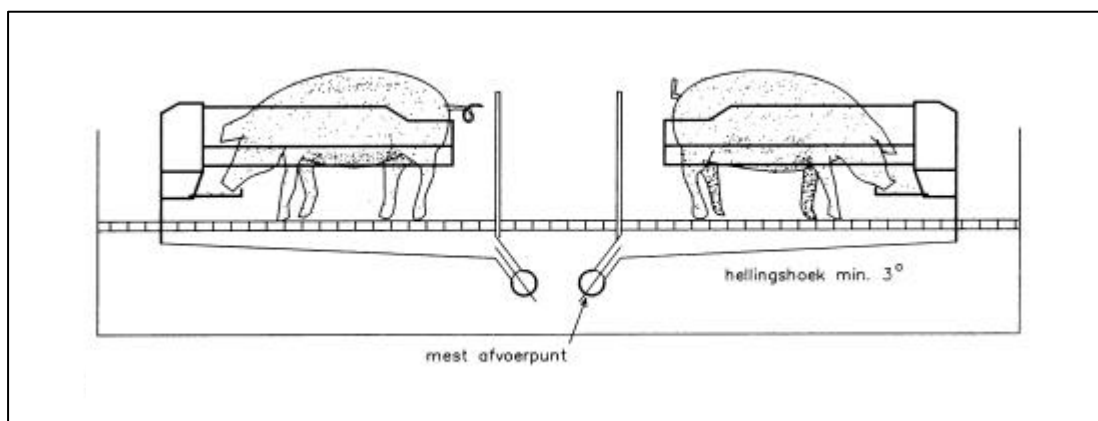
Kraamzeugen

Voor kraamzeugen, inclusief de biggen, is de ammoniakemissie in traditionele huisvesting 8,3 kg NH₃/plaats/jaar. De maximumemissie voor een GL-toekenning is 4,0 kg NH₃/plaats/jaar. De volgende technieken zijn beschikbaar:

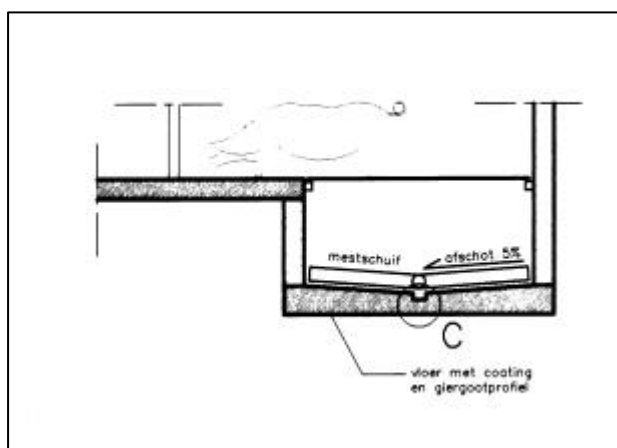
- Haglando mestschuif over een gecoatde vlakke putvloer onder volledig rooster (4,0 kg NH_3 /plaats/jaar).
- R&R mestschuif: een iets aflopende polyester opvangbak onder de roosters met een urinegoot (3,7 kg NH_3 /plaats/jaar).
- Brouwers mestschuif: een meer traditionele schuif met urinegoot onder gedeeltelijk rooster (3,1 kg NH_3 /plaats/jaar).
- WX spoelgoten: is reeds beschreven (3,3 kg NH_3 /plaats/jaar).
- Sondag mestgoot met een rioleringsysteem: is reeds beschreven (3,2 kg NH_3 /plaats/jaar).
- Combinatie van een mest- en waterkanaal (4 kg NH_3 /plaats/jaar), (den Brok et al., 1997).
- Volledig onderkelderde kraamafdeling met mestkoeling (2,4 kg NH_3 /plaats/jaar), (den Brok et al., 1997).
- Mestpan onder kraamhok (2,9 kg NH_3 /plaats/jaar).

Figuur 34 geeft een overzicht (doorsnede) van de mestpan onder het kraamhok. Figuur 35 is een dwarsdoorsnede van het concept mestschuif voor kraamzeugen.

Figuur 34. Doorsnede van een mestpan onder kraamhok (BB98.10.063)



Figuur 35. Mestschuif met gecoate, hellende keldervloer en giergoot (BB94-06-019)



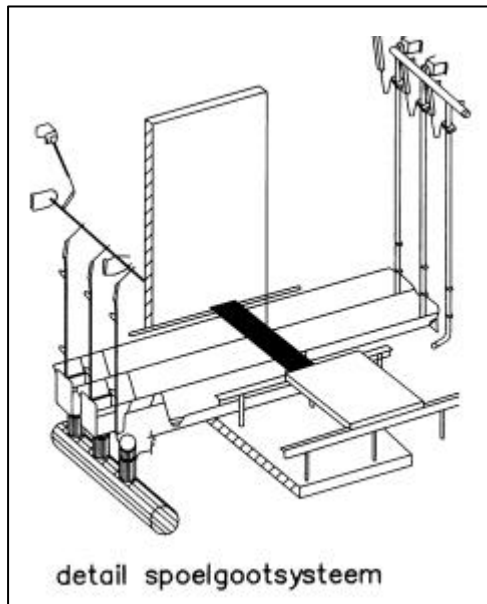
Gespeende biggen

Voor gespeende biggen is de ammoniakemissie in traditionele huisvesting 0,6 kg NH_3 /plaats/jaar. Om een Groen Label te ontvangen moet de emissie lager zijn dan 0,3 kg NH_3 /plaats/jaar. De volgende systemen zijn beschikbaar:

- Haglando mestschuif onder volledige roostervloer: is reeds beschreven (0,18 en 0,23 kg NH_3 /plaats/jaar resp. bij een hokoppervlakte van maximaal 0,35 m^2 en een hokoppervlakte van meer dan 0,35 m^2).
- WX spoelgoten: is reeds beschreven (0,21 en 0,27 kg NH_3 /plaats/jaar voor respectievelijk gedeeltelijk en volledig rooster).
- De Sondag mestgoot met een rioleringsysteem en met verdunning van water bij volledig rooster (0,13 en 0,16 kg NH_3 /plaats/jaar).
- Ondiepe mestkelders met water- en mestkanaal (0,26 en 0,33 kg NH_3 /plaats/jaar).
- Mestopvang in- en spoelen met aangezuurde vloeistof, volledig roostervloer (0,16 en 0,2 kg NH_3 /plaats/jaar).
- Mestopvang in- en spoelen met aangezuurde vloeistof, gedeeltelijk roostervloer (0,22 en 0,28 kg NH_3 /plaats/jaar).
- Gescheiden afvoer van mest en urine door middel van hellende mestband (0,20 en 0,25 kg NH_3 /plaats/jaar).
- Koeldekstelsysteem (0,15 en 0,19 kg NH_3 /plaats/jaar).

Onderstaande figuur 36 is een detailtekening van het spoelgotensysteem voor gespeende biggen.

Figuur 36. Spoelgotensysteem voor gespeende biggen (BB94.06.021 V2)



Vleesvarkens

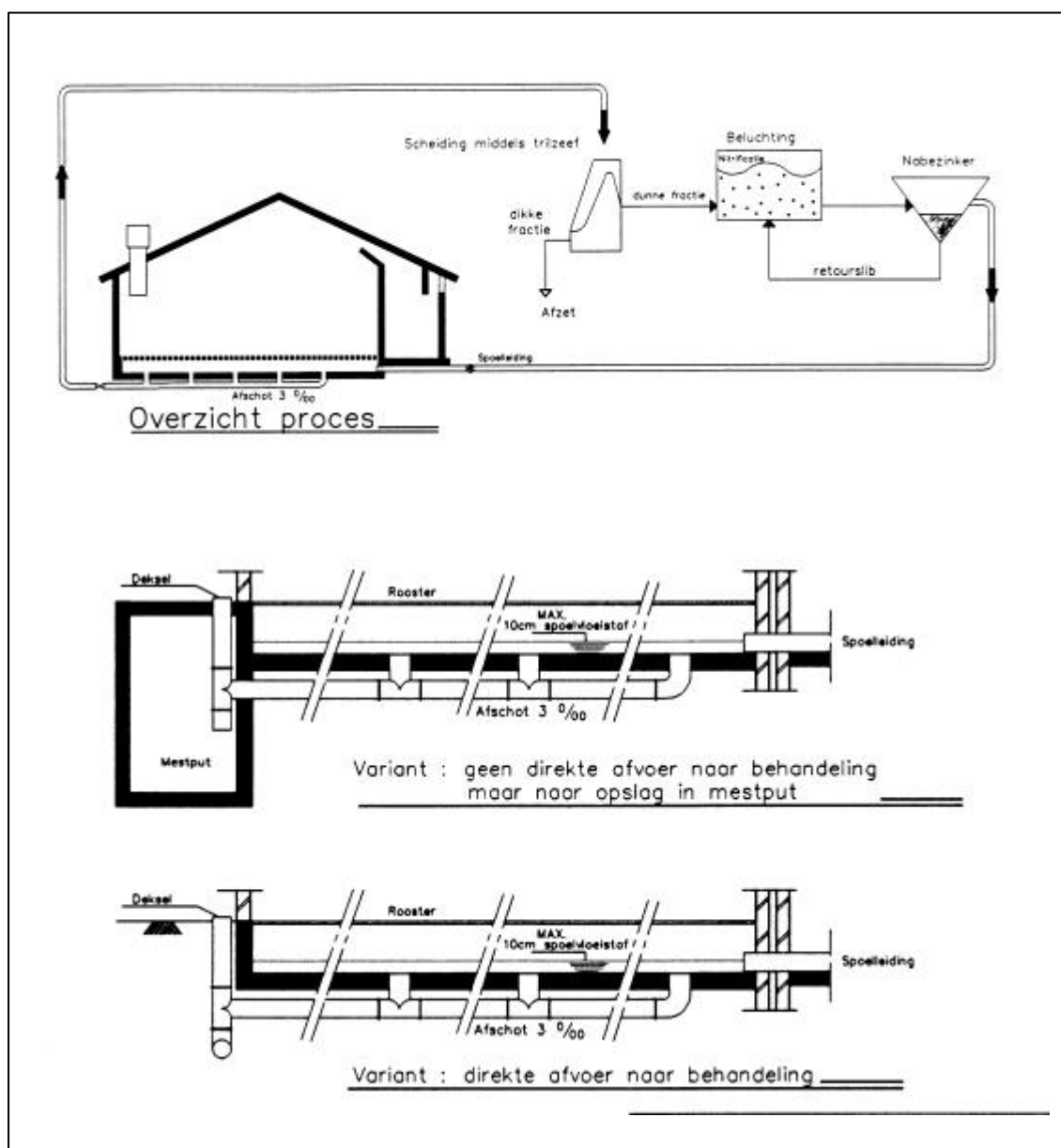
Voor vleesvarkens is de emissie in traditionele huisvesting 3,0 kg NH_3 /plaats/jaar bij volledig rooster en 2,5 kg bij gedeeltelijk rooster. De drempelwaarde om een Groen Label te verkrijgen is 1,5 kg NH_3 /plaats/jaar. De volgende systemen zijn beschikbaar:

- Mestopvang in en spoelen met NH_3 -arme spoelvroestof (inclusief aanzuren) (1,4 en 2,0 kg NH_3 /plaats/jaar voor resp. een hokoppervlakte van maximaal 0,8 m² en een hokoppervlakte groter dan 0,8 m²).
- Koeldekstelsysteem met metalen driekant roostervloer (1,4 en 2,0 kg NH_3 /plaats/jaar).
- Mestopvang in een met formaldehyde-behandelde mestvroestof in combinatie met metalen driekant rooster (0,8 en 1,1 kg NH_3 /plaats/jaar).
- Mestopvang in water in combinatie met metalen driekant rooster (1,1 en 1,5 kg NH_3 /plaats/jaar).
- Koeldekstelsysteem, 200% koeloppervlak (1,2 kg NH_3 /plaats/jaar).

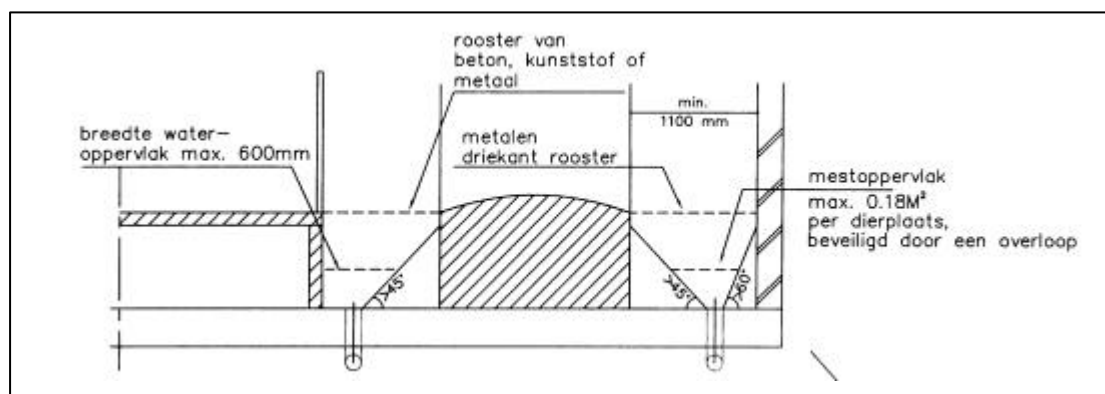
- Mestkelders met een water- en mestkanaal, 0,18 m² mestoppervlakte door schuine mestkelderwand in combinatie met metalen driekantrooster op mestkanaal (1,0 kg NH₃/plaats/jaar).

Het concept 'mestopvang in beluchte mest' wordt beschreven aan de hand van figuur 39. Figuur 38 geeft een overzicht van het Groen Label concept 'Water- en mestkanaal met schuine putwand'.

Figuur 37. Mestopvang in beluchte mest voor vleesvarkens (BB93-11-011)



Figuur 38. Doorsnede van een water- en mestkanaal met schuine putwand (BB97.07.056 V1)



Verder zijn er nog een aantal stalconcepten die perspectieven bieden, maar niet erkend worden als Groen Label stal. Hieronder volgt een kort overzicht: tabel 57.

Tabel 57. Perspectiefvolle stalconcepten nog niet erken binnen Groen Label

Emissiefactor (kg NH ₃ /plaats.jaar)	
<i>Guste en dragende zeugen</i>	
Groepshuisvesting met stro	2.5
<i>Gespeende biggen</i>	
Halfroostervloer "basisuitvoering"	0.34
<i>Vleesvarkens</i>	
Hok met gescheiden mestkanalen	-

5.2.2.3 Kostprijs

KWIN-V (1998) geeft een overzicht van de kosten van de beschikbare GL-systemen (tabel 58). Deze kosten zijn extrakosten t.o.v. de standaardstal voor Nederland. Hiervoor ging men na wat de bijkomende investeringen en exploitatiekosten zijn van elk systeem.

Tabel 58. Overzicht van de NH₃-reductie en kosten per kg NH₃-reductie voor elk systeem.
(KWIN-V, 1998)

Naam van het systeem	Emissie (kg NH ₃ per plaats)	Kosten (BEF per kg NH ₃ -reduc.)	Toepasbaarheid (1-4)
<i>Dragende zeugen (klassieke stal.):</i>	4.2		
1. WX spoelgoten	2.5	773	3
2. Grupstalsysteem	2.4	154	2
3. Sondag mestgoot	1.8	177	3
4. Hepaq-spoelen	1.8	532	3
5. Koeldeksysteem	2.2	490	2
6. Schuif in halfronde mestgoot	2.2	416	3
<i>Kraamzeugen (klassieke stal.):</i>	8.3		
1. Haglando schuif	4.0	1635	3
2. R&R schuif	3.1	1512	3
3. Brouwers schuif	3.1	1412	3
4. WX spoelgoot	3.3	821	3
5. Mest- en waterkanaal	4.0	13	4
6. Sondag mestgoot	3.2	-109	3
7. Hepaq-spoelen	3.1	800	4
8. Koeldeksysteem	2.4	439	2
9. Schuif in halfronde mestgoot	2.5	408	3
10. Hellende bodemplaat en riolering	5.0	426	4
<i>Gespeende biggen (klassieke stal):</i>	0.6		
1. Haglando schuif	0.18	3612	3
2. WX spoelgoot, VR	0.30	740	3
3. WX spoelgoot, GR	0.21	474	3
4. Water-mestkanaal	0.26	54	4
5. Sondag mestgoot	0.13	197	3
6. Hepaq-spoelen, VR	0.16	841	4
7. Hepaq-spoelen, GR	0.22	730	4
8. Koeldeksysteem	0.15	452	2
9. Hellende mestband	0.20	833	4
<i>Vleesvarkens (klassieke stal):</i>	2.5		
1. IC-spoelen	1.4	538	4
2. Farmex-spoelen	1.4	555	4
3. Cevardo spoelen met zuur	0.8	424	4
4. Cevardo spoelen met water	1.1	515	4
5. Hepaq-spoelen	1.4	521	4
6. Koeldeksysteem 170%	1.4	437	2
7. Koeldeksysteem 200%	1.2	398	2
8. Optimaal hok	1.8	317	4
9. Mestkanaal met schuine putwanden	1.0	148	4

VR: volledig rooster, GR: deelrooster

5.2.2.4 Toepasbaarheid in bestaande stallen

In bovenstaande tabel 58 werd er aan elk systeem een score voor de toepasbaarheid in bestaande stallen toegekend. Volgende betekenis werd toegekend aan deze score: 1. inpasbaar in bestaande stallen; 2. inpasbaar in bestaande stallen mits lichte renovatie; 3. inpasbaar in bestaande stallen mits grondige renovatie; 4. enkel toepasbaar bij nieuwbouw.

Het is duidelijk dat de meeste systemen enkel toepasbaar zijn bij een grondige renovatie van de stal. Deze systemen vergen immers aanpassingen aan de inrichting, de mestput, de roosters, enz.. Enkele systemen vergen een rioleringssysteem of een zodanige aanpassing aan de mestput dat deze systemen enkel haalbaar zijn bij nieuwbouw.

De grupstal voor dragende zeugen en de verschillende koeldekssystemen zijn toepasbaar mits een lichte renovatie van de bestaande (moderne) stallen. Het toepassen van een koeldekstelsysteem heeft een impact op de temperatuur van het grondwater. Deze opwarming van het grondwater kan een negatieve impact hebben op het milieu.

5.2.2.5 Controleerbaarheid

De controle van de overheid op deze systemen is hoofdzakelijk gericht op de juiste constructie van het concept en gebeurt dus hoofdzakelijk bij de bouw van de stal. Bij ieder concept hoort een lijst met eisen aan de uitvoering. In deze eisen zijn hoofdzakelijk gebaseerd op:

- Roostervloer: type rooster, oppervlakte, mestdoorlaatbaarheid, ...;
- Emitterend mestkelder oppervlak: maximale oppervlakte, schuine wand, maximale mestdiepte, ...;
- Spoelen: frequentie van spoelen, samenstelling spoelvroelstof, hoeveelheid spoelvroelstof, ...;
- Rioleringssysteem: aantal openingen per compartiment, aantal en type van afsluiter, ...;
- Hokuitvoering: type hokafscheiding, afmetingen hokafscheiding, afmetingen hok,

Verder kunnen er in de loop van de jaren nog bijkomende controles gebeuren; zoals de controle van de mestschuif (soms onderhoudscontract verplicht), controle op het regelmatig spoelen en de samenstelling van de spoelvroelstof, controle op temperatuur van mest (koeldekstelsysteem). Bij enkele systemen is de eigenaar verplicht een onderhoudscontract af te sluiten.

5.2.3 Pluimveestallen

Pluimveestallen zijn naar schatting verantwoordelijk voor een ammoniakemissie van 2491 ton NH₃ per jaar, of ongeveer 4% van de totale emissie in Vlaanderen. Volgende emissiefactoren kunnen aanvaard worden: zie tabel 59. In Vlaanderen zijn er nog geen (of slechts beperkte) emissiemetingen in pluimveestallen uitgevoerd.

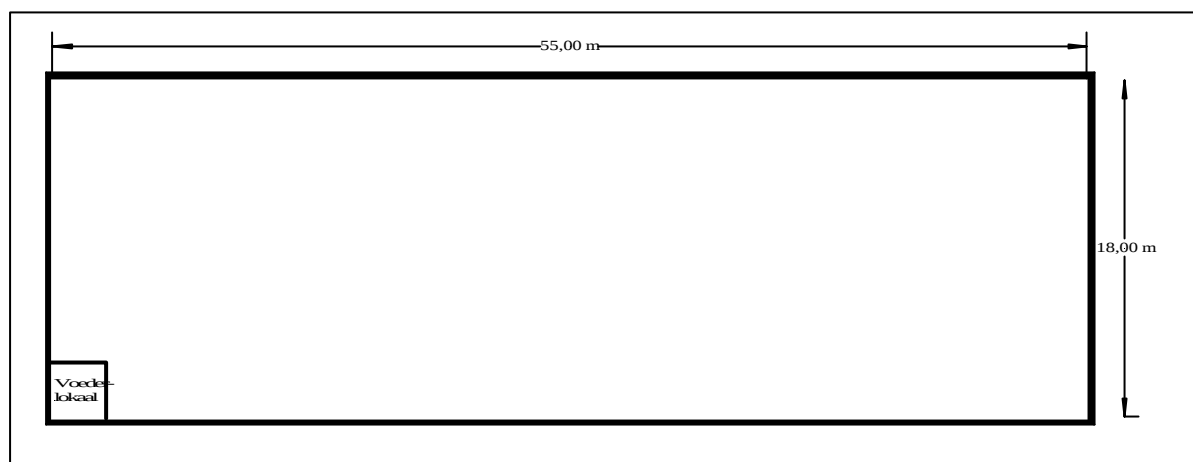
Tabel 59. Emissiefactoren voor pluimveestallen (Pollet et al., 1998 en KWIN-V, 1998)

	Batterij, open mestopslag	Volière - huisvesting	Grondhuisvesting
Opfokhennen	0.045	0.05	0.096
Legkippen	0.083	0.09	0.315
Vleeskuikenouderdieren			0.58
Vleeskuikens			0.05

5.2.3.1 Standaardstal pluimvee

De Vlaamse standaardstal voor vleeskuikens (figuur 39) bestaat uit 1 grote ruimte (18m x 55m) en biedt huisvesting aan 20.000 dieren. Gemiddeld zitten er 21 dieren per m². Vooraan in de stal is er een voederlokaal (3m x 3m). Voederverstrekking gebeurt via een panvoedersysteem: 2 silo's met 1 toevoerspiraal om 4 voederlijnen te voorzien. Per pan worden er 65 tot 70 dieren gevoederd. Er zijn 5 waterlijnen voor cups of nippels (12 tot 15 dieren/nippel; 40 dieren/cup). De ventilatie gebeurt met ventilatoren in het dak (30%) en in de eindgevel (lengteventilatie). De ventilatiecapaciteit bedraagt 8m³/dier. De stal wordt verwarmd door 2 warmeluchtkanonnen met rechtstreekse aanvoer van lucht en rookafvoer.

Figuur 39. Schets van grondplan van een stal voor vleeskuikens

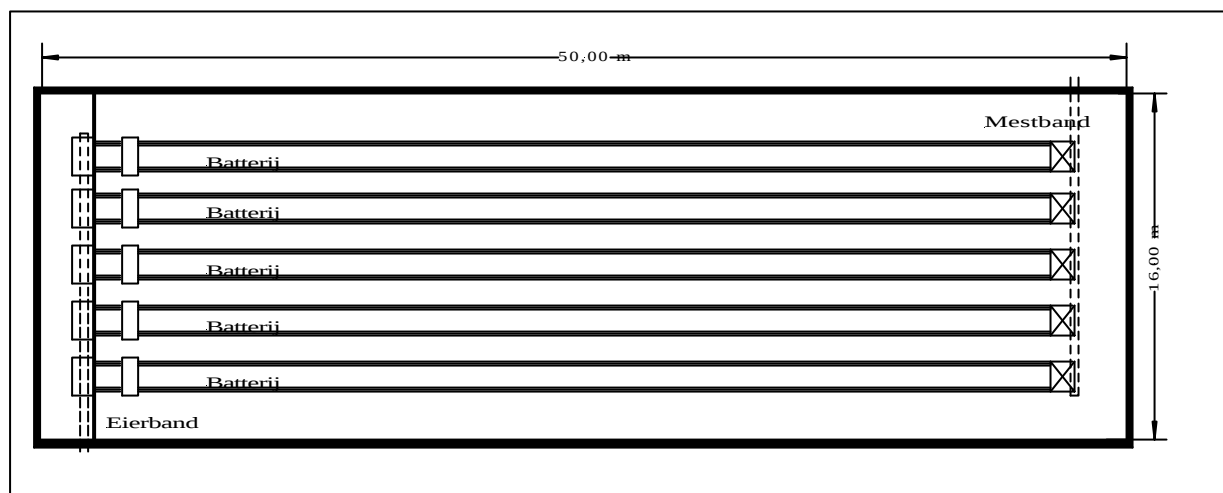


De Vlaamse leghennenstal is een batterijstal met bandbeluchting (16m x 50m) die plaats biedt aan 40.000 dieren. Er zitten gemiddeld 30 tot 40 dieren per m^2 . Naast de stal is er een werklokaal met koelruimte voor eieropslag (5m x 10m). Er is een transportbandensysteem voor de eieren. De legbatterij bestaat uit 4 etages met 5 rijen (30-40 dieren/ m^2). De gangbreedte tussen de rijen bedraagt 1.2m. Het voeder wordt automatisch toegediend met een voerketting, voerspiraal of voerwagen. Achter in de kooi bevinden zich drinknippels met morsgoot eronder. De eieren worden getransporteerd met een transportband en eierlift. De ventilatie gebeurt door lengteventilatie met centrale luchtuitlaat. De mest wordt met een beluchte transportband uit de stal naar containers gevoerd. In figuur 40 is een voorbeeld van een vierrijige batterijstal weergegeven.

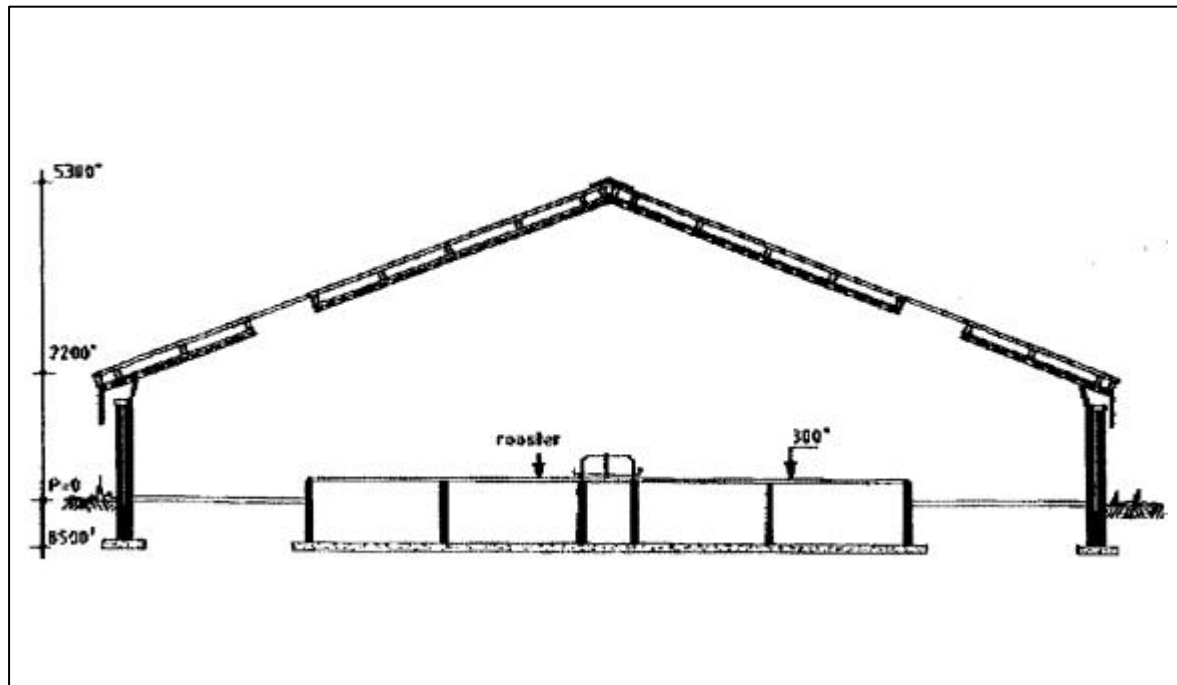
De Vlaamse standaardstal voor vleeskuikenouderdieren (figuur 41) bestaat uit een grote open ruimte (75m x 14m) met 1 rij legnesten in het midden van de stal. Ze biedt huisvesting aan 7000 moederdieren (+ 10% hanen). Er is een gemiddelde stalbezetting van 7 dieren per m^2 . Het voederlokaal en het lokaal voor eiersortering bevinden zich vooraan over de gehele breedte van de stal (4m x 14m). De legnesten zijn wegrolnesten met uitdrijfmechanisme. Het voeder wordt automatisch verstrekt met een spiraalvoersysteem (18-32 m/min) met voergoten (8cm/dier) of voerpannen (12-14dieren/pan). Er zijn watertorens voor drinkwatervoorziening. De ventilatie gebeurt door ventilatoren in het dak (30%) en in de eindgevel (lengteventilatie 70%). Aan weerszijden van de legnesten bevindt zich 1.5m

rooster in hardhouten latten. De rest van de stal is scharrelruimte met strooisel. Onder de rooster is er een mestput van 0.60 tot 0.80m diepte, goed voor een mestopslag van 1 ronde.

Figuur 40. Schets van een grondplan van een batterijstal



Figuur 41. Doorsnede van een stal voor vleeskuikenouderdieren (IKC veehouderij)



5.2.3.2 Nieuwe concepten

Ammoniak is een stikstofverbinding die niet of nauwelijks voorkomt in de excreten van pluimvee. Onverteerde eiwitten en urinezuur vertegenwoordigen respectievelijk circa 30 en 70 procent van de totale hoeveelheid stikstof in de uitwerpselen. De onverteerde eiwitten zijn door het dier niet ge- of verbruikt, terwijl urinezuur in het lichaam gevormd is om overtollig stikstof in een niet-schadelijke vorm uit te scheiden. Na uitscheiding kunnen door micro-organismen uit deze twee stikstofverbindingen ureum ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), ammoniak ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), nitriet (NO_2^-), nitraat (NO_3^-), lachgas (N_2O), stikstofmonoxide (NO), stikstofgas (N_2) en microbieel eiwit worden gevormd.

De microbiële afbraak van eiwitten en urinezuur tot ureum en vervolgens ammoniak is één van de belangrijkste processen. Dit proces wordt voornamelijk beïnvloed door de volgende factoren: waterconcentratie, temperatuur, zuurgraad, zuurstofconcentratie en luchtsnelheid (Groot Koerkamp e.a., 1990; Groot Koerkamp, 1994).

Mogelijkheden om de ammoniakemissie te reduceren via aangepaste stalconcepten kunnen onderverdeeld worden in:

- vertragen van de eiwit-/ammoniakomzetting door het drogen van de mest of het verlagen van de temperatuur van het mest;
- vertragen van de ammoniakvrijzetting door het snel verwijderen van de mest uit de stal naar een afgesloten ruimte.

Een aantal combinaties van technieken zijn aanvaard door het Groen Label. Een overzicht van de erkende stallen volgt. Voor een gedetailleerde beschrijving van deze stallen wordt verwezen naar de Groen Label stalbeschrijvingen.

5.2.3.2.1 Groen label stallen voor (opfok)leghennen

5.2.3.2.1.1 Mestbandbatterij met afvoer naar een afgesloten put

Bij dit systeem wordt de mest minimaal twee keer per week met behulp van mestbanden afgevoerd naar een afgesloten put. De door de deren geproduceerde mest wordt opgevangen

op mestbanden onder de kooien. Door middel van de mestbanden wordt de mest uit de stal verwijderd en afgevoerd naar een gesloten mestopslag. Op de mestbanden zijn bij het afstortpunt mestschrapers gemonteerd. Hiermee wordt de mestband volledig schoongeveegd. Omdat de mest minimaal twee maal per week uit de stal wordt afgevoerd, is de hoeveelheid stank en ammoniak voor dit systeem laag. De NH_3 -emissiefactor voor dit systeem is 0,02 kg NH_3 /dierplaats/jaar voor opfokhennen en 0.035 kg NH_3 /dierplaats/jaar voor leghennen.

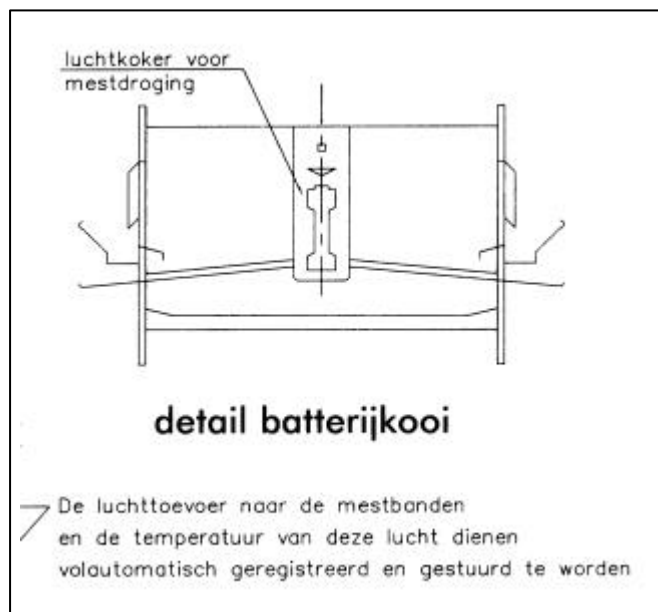
5.2.3.2.1.2 Mestbandbatterij met mestdroging

Bij dit systeem wordt de mest die op de mestband ligt, gedroogd met behulp van voorverwarmede lucht. Figuur 42 geeft een overzicht van een batterijkooi met geforceerde mestdroging. Zodra de mest op de mestband valt, komt een luchtstroom langs de mest, waardoor deze van buiten naar binnen gedroogd wordt. Hierdoor wordt de stankvorming al direct tegengegaan. Omdat het urinezuur zich als een wit laagje aan de buitenzijde bevindt, wordt dit laagje ook snel ingedroogd. Deze snelle indroging heeft tot gevolg dat de NH_3 -uitstoot gereduceerd wordt.

De lucht waarmee de mest gedroogd wordt, wordt over het algemeen voorverwarmd door het toepassen van een warmtewisselaar of met behulp van een waaiersysteem. De mest ligt 5 tot 7 dagen op de mestband. Daarna wordt deze mest uit de stal verwijderd en in een container gebracht, die direct kan afgevoerd worden. Voor legkippen op batterijen is dit het meest milieuvriendelijke systeem. De NH_3 -emissiefactor voor dit systeem is 0,02 kg NH_3 /dierplaats/jaar voor opfokhennen. Voor legkippen geldt een emissiefactor van 0.035 kg NH_3 /dierplaats/jaar.

Indien de banden met 0.4 m³ lucht per opfokhen per uur belucht wordt bedraagt de emissiefactor 0.006 kg NH_3 /dierplaats/jaar. Voor leghennen geldt een emissiefactor van 0.01 kg NH_3 /dierplaats/jaar bij een beluchting van 0.7 m³ per leghen per uur.

Figuur 42. Doorsnede van mestbandbatterij met geforceerde mestdroging (Groen Label BB97.07.058)



5.2.3.2.1.3 Compactbatterij

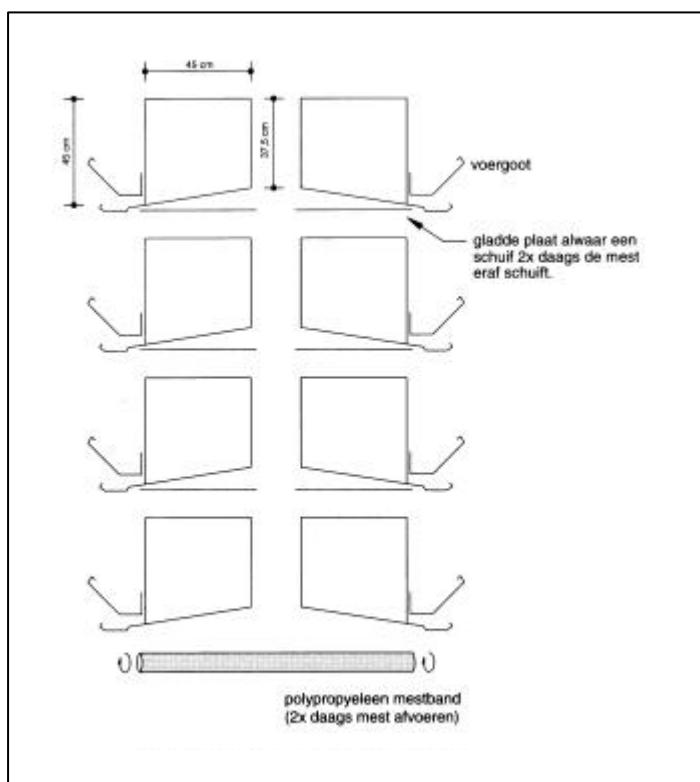
Bij dit systeem zijn de dieren gehuisvest in compactbatterijen waarvan de mest 2 maal daags door middel van mestschuiven en een centrale mestband afgevoerd wordt naar een gesloten opslag. Figuur 43 geeft een overzicht van een compactbatterij. De emissie van deze systemen bedragen 0.011 kg NH₃/dierplaats/jaar voor opfokhennen en 0.02 kg NH₃/dierplaats/jaar voor leghennen.

5.2.3.2.2 Groen labelstallen voor vleeskuikenouderdieren

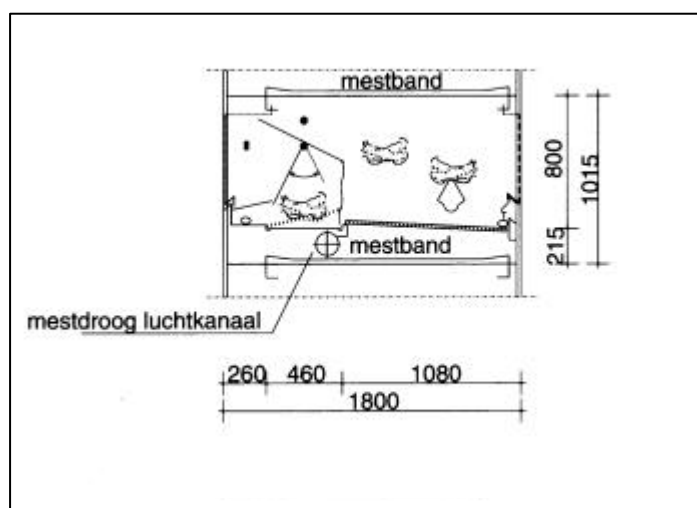
5.2.3.2.2.1 Groepskooi

De NH₃ emissie bij een traditionele stal voor vleeskuikenouderdieren bedraagt 0,580 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Uit onderzoek bleek dat de groepskooi met een NH₃ emissie van 0,080 kg NH₃, ruimschoots blijft onder de voorgestelde drempelwaarde. De groepskooi is voorzien van een mestband met geforceerde mestdroging (BB 95.12.039). Figuur 44 geeft een overzicht van een groepskooi.

Figuur 43. Doorsnede van een compactbatterij met afvoer naar gesloten mestopslag (Groen Label BB95.06.026)



Figuur 44. Doorsnede van groepskooien met mestbandbeluchting (Groen Label BB95.12.039/A96.06.041)

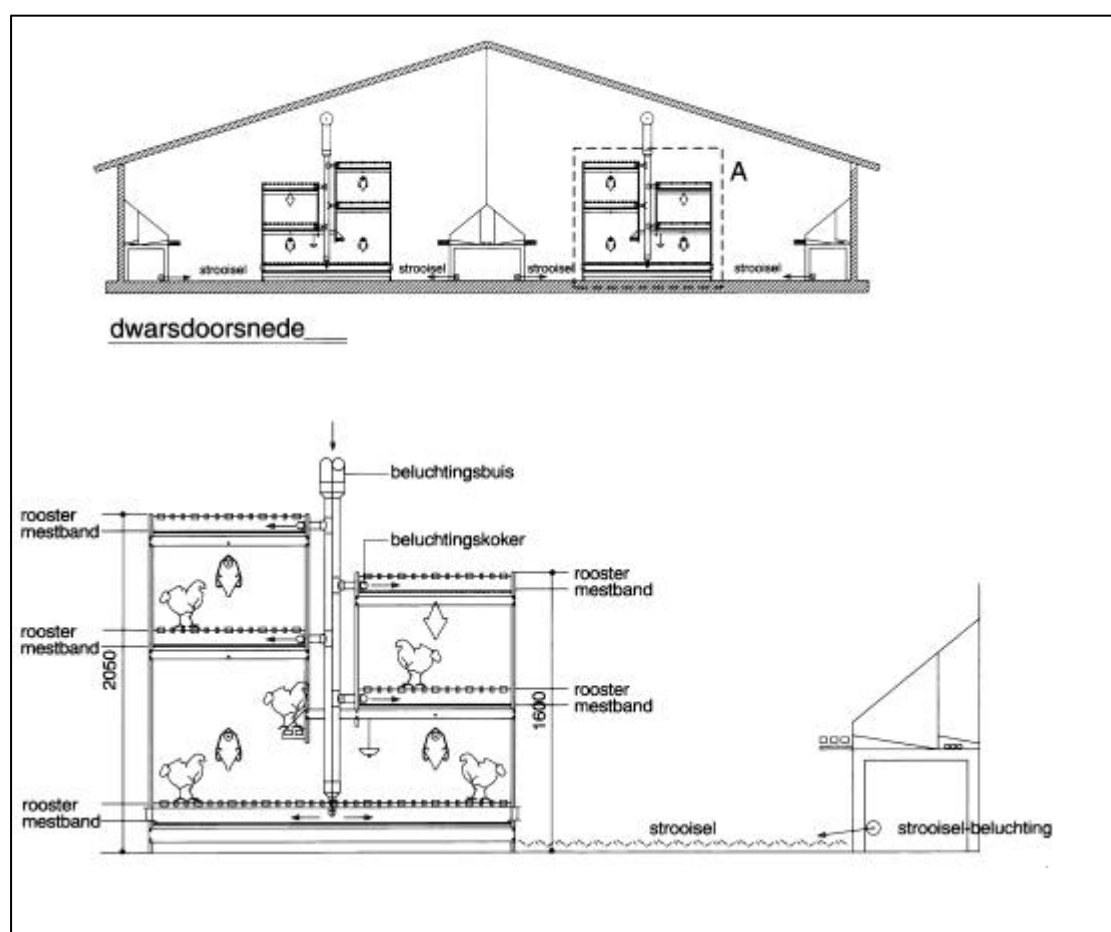


5.2.3.2.2 Volièrehuisvesting

Ten opzicht van traditionele huisvesting is ook bij dit systeem verlaging van de NH_3 -uitstoot mogelijk door het toepassen van mestbanden met beluchting in de stellages. Bijkomend voordeel van volières is dat er per m^2 staloppervlak meer dieren kunnen gehouden worden dan in de standaardstal. Volières worden ook algemeen aanzien als een welzijnsvriendelijk huisvestingssysteem. Figuur 45 toont een dwarsdoorsnede van een volièrehuisvestingssysteem.

Voor een volièrehuisvesting met geforceerde mestdroging geldt een emissiefactor van 0.17 kg NH_3 /dierplaats/jaar (BB 97.01.050). Indien in dit systeem ook het strooisel gedroogd wordt geldt een emissiefactor van 0.13 kg NH_3 /dierplaats/jaar (BB 97.01.053).

Figuur 45. Volièrehuisvesting met mestband- en strooiselvloerbeluchting (Groen Label BB97.01.053)



5.2.3.2.2.3 *Grondhuisvesting met mestbeluchting van bovenaf*

De emissiefactor van dit systeem bedraagt 0.25 kg NH₃/dierplaats/jaar. Aan volgende eisen moet voldaan worden: 70% roostervloer, 2.5 m³ lucht per dier per uur van minimaal 24°C en 50% buitenlucht.

5.2.3.2.3 *Groen labelstallen voor vleeskuikens*

5.2.3.2.3.1 *Zwevende vloer met strooiseldroging*

Om de NH₃-uitstoot uit vleeskuikensstallen te verminderen, is het noodzakelijk om het strooisel zo droog mogelijk te houden. Uit de literatuur is bekend dat bij een drogestofpercentage van meer dan 70%, de bacteriële activiteit in het strooisel nagenoeg stil ligt. Hierdoor is de NH₃-emissie nagenoeg nihil. Van een hoog drogestofgehalte in de mest wordt ook gebruik gemaakt bij de Groen Labelsystemen welke voor vleeskuikens nu voorhanden zijn. Bij deze systemen wordt door het strooisel een bepaalde hoeveelheid stallucht geblazen, waardoor het strooisel zeer droog blijft.

Een eerste systeem is de verhoogde strooiselvloer. Bij dit systeem wordt een metalen rooster geplaatst op ca. 0.5 m boven de vloer. Op het rooster ligt een doek, met daarop het strooisel. Er wordt lucht uit de stal aangezogen en van onder af door het doek en het strooisel geblazen. Hierdoor zijn ventilatoren op de roostervloer geplaatst. De totale maximumcapaciteit voor het beluchten van de mest is 2 m³/uur/dierplaats. Figuur 46 toont een mogelijke uitvoering van een zwevende vloer.

Voor Groen Labelstallen voor vleeskuikens geldt een drempelwaarde van 0,015 kg NH₃/dierplaats/jaar. De zwevende vloer heeft een NH₃-emissie van 0,005 kg NH₃/dierplaats/jaar (BB 93-03-002). Volgens Macke en Van Den Weghe (1997) bedraagt de reductie 70%.

5.2.3.2.3.2 Geperforeerde betonvloer met strooiseldroging

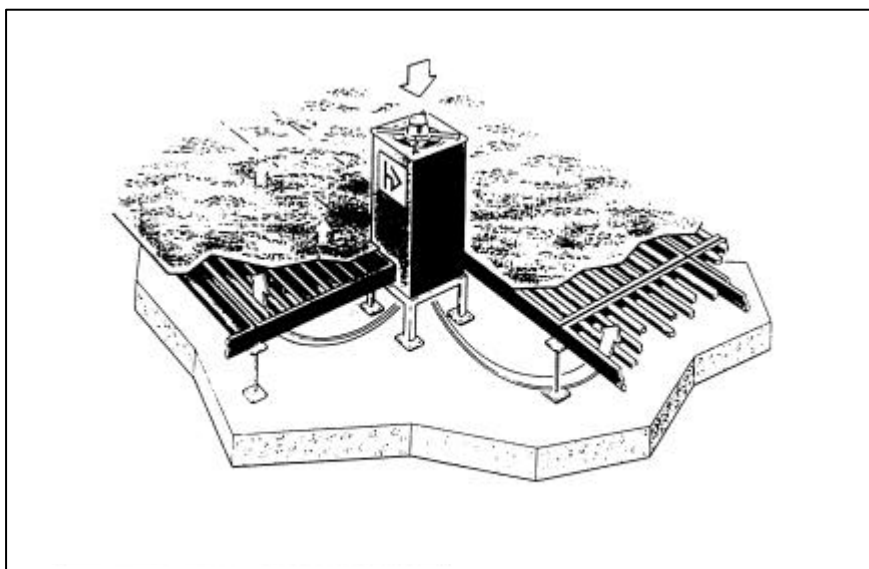
De geperforeerde vloer is een gelijkaardig systeem. Bij dit systeem wordt de lucht vanonder af door het strooisel geblazen. De vloer bestaat uit betonpanelen met openingen van 16 cm diameter. De openingen zijn afgedekt met deksels van kunststof waarin gaatjes van 2 mm zijn aangebracht. De totale maximumcapaciteit voor het beluchten van de mest is 2 m³/uur/dierplaats. Figuur 47 geeft een overzicht van dit systeem.

De Perfovloer heeft een NH₃-emissie van 0,014 kg NH₃/dierplaats/jaar (BB 94.04.016).

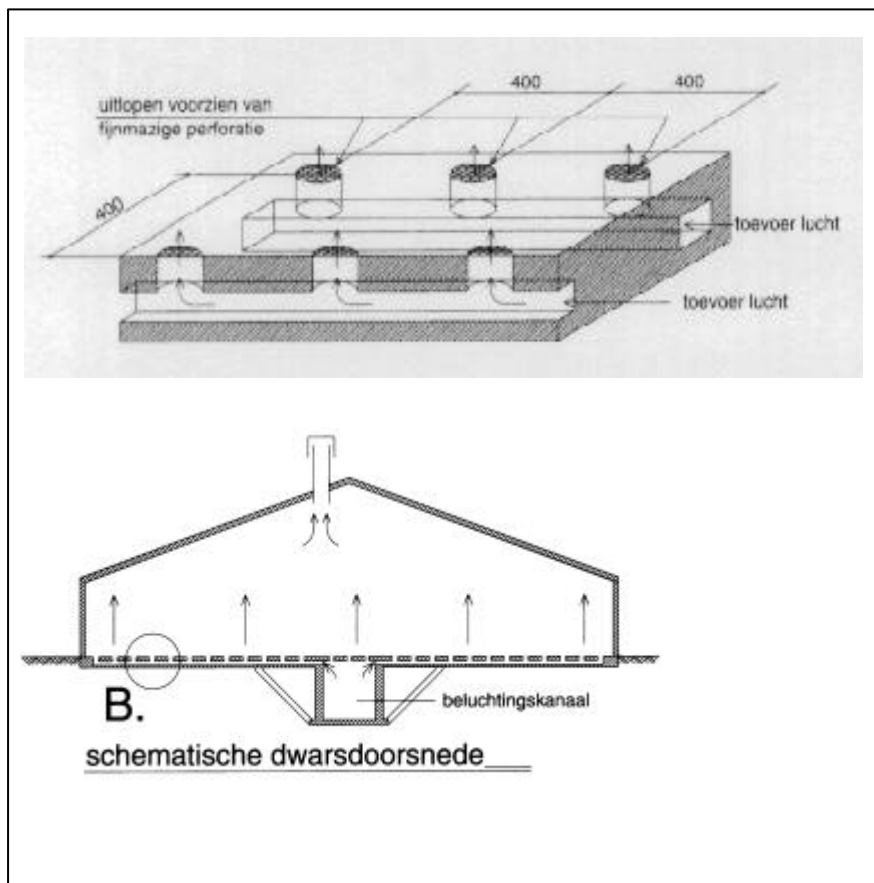
5.2.3.2.3.3 Etagesysteem

Etagesysteem met volledig roostervloer en mestbandbeluchting en/of strooiseldroging: emissiefactor bedraagt 0.005 kg NH₃/dierplaats/jaar (BB 93.03.002). Figuur 48 toont een dwarsdoorsnede van een etagesysteem.

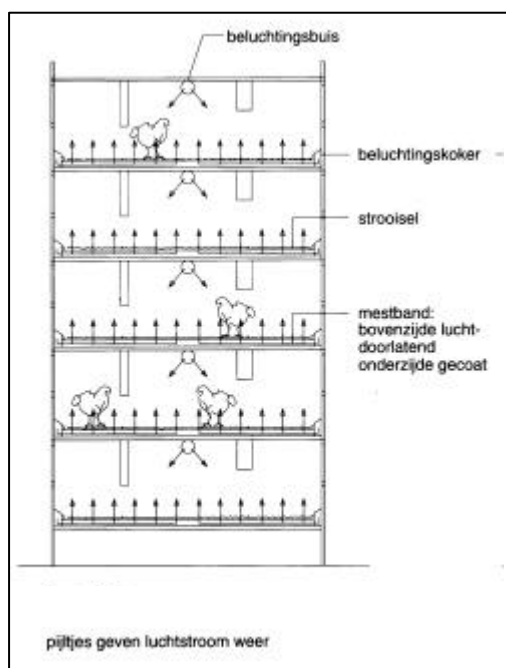
Figuur 46. Vleeskuikensstal met zwevende vloer en strooiseldroging (Groen Label BB93.03.002)



Figuur 47. Geperforeerde vloer met strooiseldroging (Groen Label BB94.04.016/A96.10.047)



Figuur 48. Doorsnede van etagesysteem met flexibele tussenwandjes, mestband en strooiseldroging (Groen Label BB93.03.002/C96.10.048)



5.2.3.3 Kosten

Een overzicht van de extra kosten van deze systemen is weergegeven in tabel 60. Vaak is er echter onvoldoende informatie beschikbaar om een duidelijk beeld te krijgen van de kostprijs per kg NH₃-emissiereductie.

Tabel 60. Extra kosten Groen Label stallen

Diersoort	Systeem	Extra investering (BEF/plaats)	Extra jaarlijkse kosten (BEF/plaats)	Bron
Leghennen	1	74	94	CLRTAP, 1995
	2	116	63	CLRTAP, 1995
	3	/	/	/
Ouderdieren	1	250		KWIN-V, 1998
	2	330		KWIN-V, 1998
	3	/	/	/
Vleeskuikens	1	116	11	CLRTAP, 1995
	1	163		KWIN-V, 1998
	2	116	11	CLRTAP, 1995
	2	198		KWIN-V, 1998
	3	/	/	/

Het al dan niet toepassen van de Groen Label systemen wordt in sterke mate bepaald door de extra investeringen die in het systeem gedaan moeten worden en de eventuele extra opbrengsten die met het systeem samenhangen. Zo worden GL-systemen voor vleeskuikens nog maar weinig toegepast. Dit vanwege de hoge meerkosten voor een GL-systeem: ze bedragen circa 110 BEF per dierplaats. In vergelijking met de basisprijs voor een traditioneel stalsysteem, met een bouwkost van ongeveer 225 tot 300 BEF per dierplaats (Droeshout N.V.), is dit 50 tot 35% duurder. Voor legkippen en vleeskuikenouderdieren zijn er wel economisch haalbare GL-systemen beschikbaar (van de Weerdhof, 1996).

Tabel 61 geeft een overzicht van het reductiepotentieel van de besproken Groen Labelstallen. Reducties van 56% tot 90% zijn haalbaar. De reductie-efficiëntie op lange termijn en bij grootschalige toepassing in praktijkomstandigheden is moeilijk in te schatten. Indien deze efficiëntie lager uitvalt moet hiermee rekening gehouden worden bij de bepaling van de kostprijs van de systemen.

Tabel 61. Overzicht van het reductiepotentieel van de Groen Label stallen voor pluimvee (emissiefactoren in kg NH₃/dierplaats/jaar)

Diersoort	Systeem	Emissiefactor referentie	Emissiefactor Groen Label stal	Reductie (%)
Opfoklegghen	1	0.045	0.02	56
	2	0.045	0.02	56
			0.006	87
Leghennen	3	0.045	0.011	75
	1	0.083	0.035	58
	2	0.083	0.035	58
Ouderdieren			0.01	88
	3	0.083	0.02	76
	1	0.58	0.08	86
Vleeskuikens	2	0.58	0.17	70
			0.13	77
	3	0.58	0.25	57
	1	0.05	0.005	90-70
	2	0.05	0.014	72
	3	0.05	0.005	90

5.2.3.4 Toepasbaarheid

De Groen Label concepten voor pluimvee moeten beschouwd worden als volledige stalinrichtingsconcepten en zijn dus enkel toepasbaar bij een volledige renovatie van de stalinrichting. Enkele van deze concepten worden al toegepast in de praktijk. Mestbandbatterij (met geforceerde droging) is reeds de standaardstal voor legkippen in Vlaanderen.

5.2.3.5 Controleerbaarheid

De controle van de overheid op deze systemen is hoofdzakelijk gericht op de juiste constructie van het concept en gebeurt hoofdzakelijk bij de bouw van de stal. Bij ieder concept hoort een lijst met eisen aan de uitvoering. Deze eisen zijn hoofdzakelijk gebaseerd op:

- Uitvoering kooi: afmetingen, verplicht (mestbeluchting)systemen, inrichting, ...;
- Mestband: plaatsing, materiaal, ...;
- Vloerconcept: oppervlakte, luchtdoorlaatbaarheid, ...;
- Ventilatie: beluchtingconcept, minimaal ventilatiedebiet,

Verder kunnen er in de loop van de jaren nog bijkomende controles gebeuren; zoals de controle van de frequentie van mestafvoer, controle op beluchtingsdebiet, DS-gehalte van de mest, enz..

5.3 Biofilters

De ontwikkeling van biofilters voor de veehouderij gebeurde vroeger hoofdzakelijk met het oog op de reductie van de geuremissie. Omdat de ammoniakemissie meer en meer in verband gebracht wordt met allerlei milieuproblemen, wordt onderzocht of de biofilter ook ingezet kan worden voor het reduceren van de ammoniakemissie.

Er zijn twee systemen van biofilters: de biowasser en het biobed. De vervuilde lucht wordt in deze filters geblazen. De geurcomponenten en de ammoniak dienen als voedingsstoffen voor de aanwezige bacteriën en worden bijgevolg afgebroken.

In de biowasser groeien deze bacteriën op bepaalde dragende structuren zoals bijvoorbeeld ringen, gemaakt van corrosievrij materiaal en met een speciaal ontwerp om het oppervlaktecontact met het water te verhogen. De vloeistof, die ook bacteriën bevat, wordt over dit vulmateriaal gespreid en de lucht wordt in tegenstroom door deze douche geleid. Het water neemt de geurcomponenten en de ammoniak op en de aanwezige bacteriën breken deze stoffen af. Uit de literatuur blijkt dat biofilters in staat zijn om de ammoniakemissie te reduceren met meer dan 95% (Colanbeen et al., 1992). Om het nitrificatieproces en dus ook de efficiëntie te behouden, moet men het waswater regelmatig verversen. Bij het nitrificatieproces zetten *Nitrosomonas* en *Nitrobacter* bacteriën NH_3 om in NO_3^- .

In het biobed groeien de micro-organismen op een filter medium, gewoonlijk bestaande uit natuurlijke materialen zoals heideturf mengsels of schorscompost mengsels. De vervuilde lucht wordt door dit bed geleid. De efficiëntie van een biobed voor het reduceren van de ammoniakemissie kan oplopen tot 100%. Deze hangt vooral af van het luchtdebiet en de vochtigheid van het filtermateriaal (Saether et al., 1991; Den Hartog et al., 1994).

5.3.1 Technisch-economische evaluatie

1. Van de Sande-Schellekens en Backus (1993) beschreven volgende ervaringen met **biowassers** op vleesvarkensbedrijven. Een ammoniakreductie van 70% is mogelijk. Het

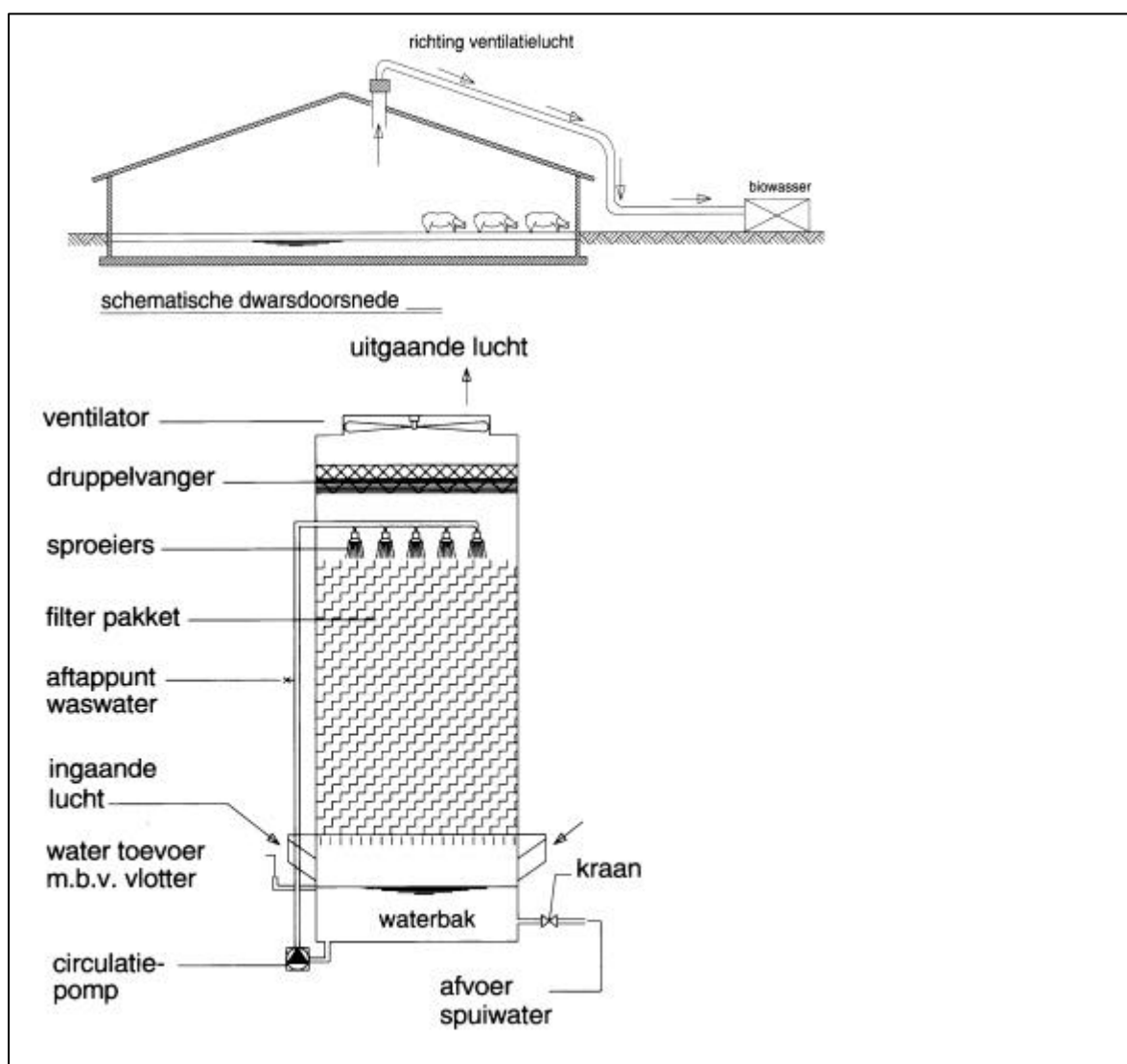
grootste probleem van de biowasser is het dichtslibben van het filtermateriaal. Dit dichtslibben verhoogt het drukverschil dat de ventilatoren moeten overwinnen, en bijgevolg ook het energiegebruik. Indien dit drukverschil te hoog wordt, kan er niet meer voldoende geventileerd worden. Het regelmatig reinigen van het filtermateriaal, een arbeidsintensief en onaangenaam werk, is dan ook vereist. Deze arbeid draagt bij tot de kostprijs van deze systemen. De extra jaarlijkse kosten van een biowasser worden geschat op 925 tot 1110 BEF per varkensplaats. Met de extra kosten verbonden aan opslag/afvoer van het waswater werd geen rekening gehouden.

2. Colanbeem en Neukermans (1992) bestudeerden een **biowasser** voor het verminderen van de geurcomponenten van lucht uit een vleeskippenstal. De hoge stofconcentratie in de stallucht maakt het gebruik van een stoffilter noodzakelijk. De NH_3 -verwijderingsefficiëntie bedroeg 90%. Volgens de auteurs heeft de biowasser volgende voordelen t.o.v. een biobed: compact, lage tegendruk, synthetisch dragermateriaal heeft een lange levensduur, eventuele regeling via het toegevoegde water mogelijk (pH en temperatuur). Nadelen zijn lange opstartduur, de periodische reiniging, de stikstofcomponenten in het spoelwater.
3. Van Asseldonk en Voermans (1989) beschrijven het gebruik van **biobedden** om de ammoniakemissie uit varkensstallen te reduceren. Nadat de lucht door het filterbed is gestuurd, is de ammoniakemissie met 85% gereduceerd. Om dit te realiseren, moet de verblijftijd (verblijftijd = volume biobed / debiet) van de vervuilde lucht minstens 5 tot 6 seconden bedragen. Een andere belangrijke parameter is de tegendruk van het biobed en dit vooral om het energieverbruik te verminderen. Een mogelijkheid om de tegendruk zo laag mogelijk te houden, is bijvoorbeeld de hoogte van het bed te beperken. Het onderhoud van biobedden is zeer belangrijk. De vochtigheid van het filtermateriaal moet in stand gehouden worden met een sproeiinstallatie. Bovendien moet het mengsel iedere vier maanden opgeschud worden om de tegendruk te verminderen. Een ander probleem was het verwijderen van het water dat gebruikt wordt om het bed te besproeien. Dit water bevat na het spoelen veel nitraten en moet dan ook behandeld worden als mest.
4. Den Hartog en Voermans (1994) beschrijven in het FOMA-rapport (Financierings Overleg Mest en Ammoniak) de luchtzuivering van varkensstallen. Deze technieken kunnen de ammoniakemissie met meer dan 80% reduceren. Maar er zijn enkele bezwaren tegen het gebruik van **biofilters**: spoelwater geeft een vermeerdering van het mestvolume met 40%, stof en aangroei van de biomassa verhogen de ventilatieweerstand en bijgevolg het

energieverbruik van de ventilatoren. Bovendien zijn deze technieken duur (van 800 BEF tot 1260 BEF per vleesvarkensplaats per jaar).

5. Hendriks et al. (1996) bestudeerden een commercieel beschikbare **biofilter**, ontwikkeld voor industriële doeleinden, voor het verminderen van de ammoniakemissie. Het experiment vond plaats in een mechanisch geventileerde vleesvarkensstal gedurende 1 jaar (mei 1994 tot april 1995). De ammoniakemissie werd bepaald aan de hand van een continue meting van de ammoniakconcentratie en het ventilatiedebiet. De biofilter die in deze test gebruikt werd, bestaat uit een combinatie van een biowasser met een biobed. De resultaten gaven aan dat een reductie van de ammoniakemissie met meer dan 90% mogelijk is. Deze reductie werd vrijwel volledig bereikt in de biowasser.
6. Siemers et al. (1997) bestudeerden eveneens het gebruik van een **biofilter** om de ammoniakemissie uit varkensstallen te reduceren. De NH_3 -verwijderingsefficiëntie is niet éénduidig vermeld. Een algemene toepassing van deze biofilter in de praktijk is niet haalbaar, vanwege de te hoge kostprijs. De kosten van deze biofilter worden geschat op 160 BEF per afgeleverd varken.
7. In het kader van het Groen Label systeem zijn er een aantal biowassers erkend. Figuur 49 toont een overzicht van een mogelijke uitvoering. Volgende emissiefactoren worden toegekend in het kader van het Groen Label: vleesvarkens 0.8 kg NH_3 /plaats.jaar; kraamzeugen 2.5 kg NH_3 /plaats.jaar; dragende zeugen 1.3 kg NH_3 /plaats.jaar; gespeende biggen 0.18 kg NH_3 /plaats.jaar.

Figuur 49. Biologisch luchtwassysteem voor varkens (Groen Label BB96.10.042/A96.10.044)



5.3.2 Kostprijs

De belangrijkste reden echter waarom biobed en biowasfilter niet populair zijn bij de veehouder is de hoge investerings- en werkingskosten eraan verbonden. In 1993 bedroegen de totale exploitatiekosten per slachtkip respectievelijk 11,5 BEF voor biobed en 8,3 BEF voor biowasfilter. Voor varkens van 7 tot 35 kg bedroeg dit 40 BEF/dier. De kosten vleesvarkensplaats worden vermeld in tabel 62.

Als algemene conclusie kan men stellen dat biofiltering, in vergelijking met de (goedkoopste) technieken van mestadditieven & stalaanpassingen, een efficiënte maar dure techniek is. Met biofiltering kan men de NH_3 -emissie beperken met 70 - 90%, waarbij de kosten per afgeleverd vleesvarken 160 tot 420 BEF bedragen.

Een ander nadeel van biofilters, naast de hoge kostprijs, is het feit dat deze veel onderhoud vergen als men een goede werking wil bekomen. Het afvalwater, rijk aan nitriet en nitraat vormt een bijkomend probleem.

Verder is er het feit dat deze biofilters enkel symptoombestrijders zijn, vermits ze geen invloed hebben op de mest zelf, die in feite de primaire ammoniakbron is. De voorkeur gaat dus eerder uit naar technieken zoals voedertechnieken, mestadditieven en stalaanpassingen die meer toegespitst zijn op het voorkomen van de ammoniakemissie uit mest.

Tabel 62. Efficiëntie en kosten van biofilters voor vleesvarkens.

	Soort filter	Efficiëntie	Kostprijs BEF/plaats
Van Asseldonk en Voermans, 1989	Biobed	> 85%	
Colanbeen et al., 1991		> 92%	
Van de Sande-Schellekens en Backus, 1993		> 70%	900-1100
Den hartog en Voermans, 1994		> 80%	800-1200
Young et al., 1997		60-84% (G)	
Siemers en Van Den Weghe, 1997		> 90%	420
Dong et al., 1997	Biowasser	32-54%	
Lais et al., 1997		36% / 89% (G)	320-720
CLRTAP, 1996		80%-90%	1000-1200
KWIN-V, 1998		70%	800

5.3.3 Controleerbaarheid

Bij het ontwerp van de biofilter dient er rekening gehouden te worden met de hoeveelheid ventilatielucht die de filter moet verwerken (verblijftijd in filter moet voldoende zijn). Voor de erkenning van de installatie moet men een vergunning krijgen. Verdere controle op de goede werking kan gebeuren door ofwel een regelmatige analyse van het waswater, ofwel via een rechtstreekse rendementsbepaling van de filter. Een verplicht onderhoudscontract bij erkende firma's is eveneens een mogelijkheid.

5.4 Mestadditieven

Met mestadditieven wordt meestal enkel de vrijzetting vanuit de mestput gereduceerd. Vastgesteld is dat in een vleesvarkensstal met deelroosters (60% rooster) gemiddeld ongeveer 70% van de emissie afkomstig is uit de mestkelder en de rest vanaf de vloer (Hoeksma et al., 1992). Opgemerkt moet worden dat deze verhouding sterk afhankelijk is van de graad van bevuilding in de stal. De emissie in een vuile stal kan immers tot driemaal hoger zijn vergeleken met een schone stal (Ni J., 1998).

Momenteel is er een groot aanbod van mestadditieven om de ammoniakemissie te reduceren. Het is echter niet eenvoudig om zich uit te spreken over de efficiëntie ervan, vermits men slechts over weinig objectieve en betekenisvolle gegevens beschikt (Miner et al., 1995). Bovendien is er een grote verscheidenheid in de manier waarop deze producten getest worden. Enkel een experiment in praktijkomstandigheden waarbij continu gemeten wordt gedurende een voldoende lange periode en waarbij zowel gemeten wordt in een test- als in een referentiecompartiment, kan uitsluitsel geven over de efficiëntie van de geteste producten (Jungbluth, 1996). De meeste gegevens zijn het resultaat van experimenten die niet voldoen aan deze eisen.

Enkel resultaten van experimenten die voldoen aan de volgende eisen kunnen aanvaard worden:

- experimenten in praktijkomstandigheden;
- continue meting van de ammoniakemissie op basis van een NO_x-analyser (of een toestel met een gelijkaardige nauwkeurigheid);
- vergelijking van een test- en een referentiecompartiment: in beide compartimenten moeten de omstandigheden (inrichting, klimaatregeling, dieren) zo gelijk mogelijk gehouden worden;
- ieder compartiment moet voorzien zijn van een volledig afgesloten en waterdichte mestput;
- metingen over minstens 1 mestrunde.

Het werkingsmechanisme van de mestadditieven verschilt sterk van product tot product. De gemakkelijkste manier om de ammoniakconcentratie in de vloeibare fase te verminderen is door de toevoeging van water. Dit is echter niet erg praktijkgericht, vermits het verdunnen van mest aanleiding geeft tot een evenredige en onverantwoorde vergroting van het mestvolume (Oosthoek en Voorbrug, 1992).

Al naargelang van het werkingsprincipe waarop zij berusten, kunnen mestadditieven in vier groepen ingedeeld worden:

1. Zuren of zuurproducerende toevoegmiddelen
2. Ammoniumabsorberende producten
3. Middelen die bacteriën en/of enzymen bevatten
4. Middelen die chemisch werken

5.4.1 Zuren of zuurproducerende toevoegmiddelen

In dierlijke mest is zowel ammoniak (NH_3) als het opgeloste ammonium (NH_4^+) aanwezig. Tussen beide stoffen bestaat een evenwicht, dat door het toedienen van zuur (H^+ -ionen) naar de ammoniumvorm verschuift. Hierdoor neemt de ammoniakconcentratie in de mest af en vermindert ook de ammoniakemissie. In theorie treedt bij een pH van 6 nagenoeg geen ammoniakemissie meer op (Oosthoek en Voorbrug, 1992).

Een bijkomend voordeel van het aanzuren van mest, is de daling van de bacteriële activiteit in de mest ten gevolge van de pH-verlaging. Hierdoor daalt de productie van geurcomponenten, zodat ook de geuremissie vermindert (Dochy, 1994).

Meestal voegt men het zuur rechtstreeks toe aan de mest, in de vorm van anorganische en/of organische zuren. Het zuur kan echter ook in de mest door micro-organismen worden geproduceerd. Dit laatste noemt men microbieel aanzuren.

5.4.1.1 Anorganische zuren

5.4.1.1.1 HCl

Husted et al. (1991) onderzochten het effect van HCl op de ammoniakreductie. De testen werden uitgevoerd op rundveemest onder labo-omstandigheden. Hierbij maakte men gebruik van een "microdiffusion unit", bestaande uit enkele petrischaaltjes in één grote petrischaal. Het eerste petrischaaltje bevatte 5 gram rundveemest. Het tweede werd gevuld met 12 ml van een verzadigde boorzuuroplossing. Deze had als doel de ontsnapte NH_3 uit de mest in het eerste petrischaaltje op te vangen. Deze twee werden in de grote petrischaal gebracht, die afgesloten werd met een parafilm. Men deed testen op mest behandeld met 0, 80, 160, 240 en 320 meq HCl per liter mest. Voor elke te onderzoeken behandeling maakte men 2 reeksen van elk tien units. In een periode van 2 tot 3 weken haalde men er op regelmatige tijdstippen 2 units uit. Hiervan bepaalde men telkens de pH en de ammoniakconcentratie. Uit de resultaten bleek dat HCl zeer effectief kan zijn om een reductie van de ammoniakemissie te bekomen. Verder stelde men vast dat er een quasi lineair verband bestaat tussen de hoeveelheid toegevoegde HCl en de bekomen ammoniakreductie. De reductie werd groter naarmate de hoeveelheid toegevoegde HCl steeg. Bij het toevoegen van 320 meq HCl per liter mest bekwam men een reductie van 100%. De pH had bij de startfase een waarde van 5,8 en bereikte nadien een maximum van 6,1. Door het gebruik van HCl kan men dus de pH laag houden voor een lange periode, zodat men de ammoniakemissie volledig kan voorkomen. De behandelde mest kan niet meer aangewend worden voor zogenoemde chloorgevoelige gewassen (aardappelen, tabak,...).

5.4.1.1.2 H_3PO_4

Reece et al. (1979) onderzochten het gebruik van H_3PO_4 in de pluimveehouderij. Het onderzoek werd uitgevoerd in een stalcompartiment, met op de bodem een laag strooisel bestaande uit een laag houtkrullen. Per m^2 vloer werd het strooisel aangezuurd met 0,4 kg 2,5M H_3PO_4 . De ammoniakconcentratie werd gemeten met behulp van een Matheson-Kitagawa gasdetector. Gedurende de eerste drie dagen, waarbij het strooisel een $\text{pH} < 6$ had, werd er geen ammoniakconcentratie waargenomen. Bij het verdere verloop van de proef, wat gepaard ging met een stijgende pH, steeg de gemeten ammoniakconcentratie. De ammoniakconcentratie bleef laag gedurende de eerste tien dagen en na 17 dagen was het effect van H_3PO_4 uitgewerkt. Alhoewel H_3PO_4 effectief is, is het o.a. door zijn hoge kostprijs

niet economisch (Safley, 1983). Bovendien leidt het gebruik van dit product tot een nog hogere overbemesting met fosfaat.

5.4.1.1.3 H_2SO_4

Stevens et al. (1989) analyseerden het effect van H_2SO_4 op de ammoniakreductie. Men heeft een labo-opstelling gemaakt, waarbij de varkens- en koemest uitgespreid werd op de grond in een serre en aangezuurd met 5 M H_2SO_4 . Vervolgens werd de ammoniakemissie gemeten die vrijkwam uit meststalen met een pH tussen 7 en 4. Men heeft vastgesteld dat minstens 80% van de ammoniakemissie uit varkens- en koemest kan voorkomen worden door deze respectievelijk aan te zuren tot een pH van 6,0 en 5,5. De hoeveelheid toe te voegen zuur, voor een pH van 6 bij varkensmest en een pH van 5,5 bij koemest te bereiken, is afhankelijk van de hoeveelheid NH_4^+ -N aanwezig in de mest. Zo vereist één liter mest, die 2 gram NH_4^+ -N bevat, 20 ml 5M H_2SO_4 . Zwavelzuur is goedkoper dan H_3PO_4 , maar het aanzuren van de mest met H_2SO_4 is toch een relatief dure techniek. De exacte kostprijs voor het gebruik van H_2SO_4 is niet vermeld. Het feit dat H_2SO_4 beton kan aantasten, en de kans op vorming van H_2S (giftig) en SO_2 (zure regen), zijn bijkomende problemen.

5.4.1.1.4 HNO_3

Kroodsmas et al. (1994) bestudeerden het gebruik van HNO_3 als mestadditief voor het verminderen van de ammoniakemissie. Het experiment vond plaats in mechanisch geventileerde stallen gedurende de periode 1989-1993. De rundveemest (pH 7,5) werd opgeslagen in een kelder (1,5 m diep) gelegen onder een roostervloer. Een deel van de mest in de kelder werd aangezuurd met behulp van 12-13M HNO_3 en gemixt met de rest, tot de mest een pH van 4,5 bereikte. Vermits er een continue aanvoer was van verse mest, moest men extra HNO_3 toevoegen als men de gewenste pH wilde behouden. Op die manier kon het zuurverbruik oplopen tot 40 liter van 57% HNO_3 per m³ rundveemest. Door de ammoniakemissie, die continu gemeten werd, te vergelijken voor perioden met/zonder aanzuren, stelde men een reductie van 40% vast. Dit wil zeggen dat de ammoniakemissie vanuit de kelder volledig teruggedrongen was. Eerdere testen gaven immers aan dat 40% van de ammoniakemissie afkomstig is uit de kelder en 60% vanaf de roostervloer. Niettegenstaande HNO_3 goedkoper is dan fosforzuur, vormt het hoge zuurverbruik een onaanvaardbare kostenpost. Daarenboven kunnen er ten gevolge van denitrificatie stikstofhoudende gassen

(zoals NO, N₂O) vrijkomen die schadelijk zijn voor het milieu. Een voordeel bij het aanzuren van rundveemest met HNO₃ is het feit dat men een N-aangerijkte mest verkrijgt, die een goed vervangmiddel kan zijn voor kunstmeststoffen. In de varkenshouderij is dit minder goed toepasbaar, omdat de reeds aanwezige mineralenoverschot op de varkensbedrijven hierdoor nog vergroot.

Als conclusie voor het gebruik van anorganische zuren als mestadditief kan men stellen, dat het een efficiënte maar dure techniek is. Er is niet alleen de hoge kostprijs van de producten. Meestal moeten deze zuren ook nog gemengd worden met de mest als men een goed resultaat wil bekomen. Optimaal mengen vergt heel wat energie, wat bijkomende kosten met zich meebrengt. Bovendien zijn er nog enkele praktische bezwaren tegen het gebruik ervan. Naast de specifieke nadelen van elk zuur afzonderlijk, kan men niet naast de corrosieve eigenschappen van deze zuren kijken. Aangezuurde mest kan de mestkelder en allerlei materialen aantasten. Verder is er de nood aan zuuropslagtanks op de bedrijven. Deze vormen een potentieel gevaar voor kinderen en veroorzaken brandwonden. Een ander belangrijk nadeel is het feit dat aanzuren met anorganische zuren een verrijking van de mest met ongewenste mineralen tot gevolg heeft. Uit dit alles blijkt dat het aanzuren met anorganische zuren niet haalbaar is in de praktijk.

5.4.1.2 Organische zuren

Het gebruik van organische zuren (zoals mierenzuur, melkzuur,...) heeft het voordeel dat er geen mestvreemde mineralen aan de mest worden toegevoegd.

5.4.1.2.1 Amguard®

Hendriks et al. (1996) onderzochten het effect van Amguard®, d.i. een mengsel van organische zuren, op de ammoniakreductie. Het experiment vond plaats in een vleesvarkensstal met ondiepe mestkanalen, die afgesloten werden door metalen driekanstroosters. Bij de aanvang van het onderzoek werd er aan een beperkte hoeveelheid mest (die slechts nodig was voor het opstarten van de procedure), het product Amguard® toegevoegd en in het mestkanaal gebracht. Nadien werd de mest wekelijks afgevoerd naar

een centrale mixput. Eén deel ging naar de centrale mestopslag. Het andere deel werd aangezuurd met Amguard® tot een pH van 5,5 bereikt was, en vervolgens gemixt en teruggezet. Door een continue meting van de ammoniakemissie vond men een gemiddelde van 1,44 kg ammoniak per dierplaats per jaar. Dit is een reductie van 42% tegenover een referentiestal (2,5 kg NH₃/dierplaats/jaar). Maar het aanzuren met organische zuren is vanwege de hoge exploitatiekosten nog niet bruikbaar voor de praktijk. De totale extra jaarkosten van het aanzuren bedragen afhankelijk van het staltype zo'n 560 tot 600 BEF per vleesvarkensplaats. Het grootste deel (ongeveer 350 BEF) is nodig voor de zuurtoevoeging. De andere kosten zijn afkomstig van extra investeringen, elektriciteitskosten en mestafzetkosten.

5.4.1.2.2 Clean Air 1®

Dit is een mengsel van citroenzuur, oxaalzuur en een niet nader beschreven organische verbinding. Proeven uitgevoerd aan het IMAG-DLO onderzochten het effect van Clean Air 1® op de ammoniakreductie. De ammoniakemissie werd bepaald met behulp van de meettunnelmethode. Hiertoe wordt mest uitgespreid op 1 m² grond. Er wordt een kap bovengeplaatst en lucht overgezogen. De ammoniakconcentratie in de ingaande en uitgaande lucht wordt gemeten. Behandelde mest wordt vergeleken ten opzichte van een referentie. Aan de hand van de resultaten kon men besluiten dat Clean Air 1® de ammoniakuitstoot niet beïnvloedde.

5.4.1.2.3 Melkzuur

Berg et al. (1996) onderzochten het effect van melkzuur op de ammoniakreductie. De testen werden uitgevoerd op rundvee- en varkensmest in labo-omstandigheden. Om tot een pH van 4,5 bij varkensmest te geraken heeft men 4 tot 5 volumepercent van 50% melkzuur nodig. Wil men een pH van 5 bereiken dan volstaat 2,5 tot 3 volumepercent. Bij rundveemest volstaan lagere volumepercenten. Op deze manier kan men een ammoniakreductie bekomen van 90%. Bijkomend voordeel zijn ook de zeer lage waarden voor de methaanemissies. Dit resulteert in een beter stalklimaat. De kosten voor het aanzuren van de varkensmest tot een pH-waarde van 5 bedragen 440 BEF per afgeleverd vleesvarken. Het aanzuren van de mest met melkzuur is dus efficiënt, maar economisch niet haalbaar.

5.4.1.3 Zuurproducerende middelen

Naast het aanzuren met organische en/of anorganische zuren, is ook biologische aanzuring mogelijk. Dit houdt in dat micro-organismen in de mest zuur produceren door middel van omzetting van fermenteerbare koolhydraten. Bijvoorbeeld de omzetting van glucose in melkzuur. Dit heeft ook het voordeel dat er geen extra mineralen aan de mest worden toegevoegd.

5.4.1.3.1 *Lactobacillus plantarum*

Uit een oriënterend onderzoek bleek dat de bacterie *Lactobacillus plantarum* middels melkzuurgisting in staat was om mest aan te zuren op basis van glucose als substraat. Een pH-daling van meer dan één eenheid was hierbij mogelijk. Een eenmalige aanzuring van de varkensmest tot een pH van 6,0 met citroenzuur was noodzakelijk om de melkzuurproducerende bacteriën optimaal te laten functioneren. Met toevoeging van verse varkensmest bleek het mogelijk om de melkzuurgisting verder te zetten, waarbij het niet nodig was de mest opnieuw te enten met melkzuurbacteriën. Het onderzoek werd uitgevoerd in een vleesvarkenafdeling. Bij de start van het onderzoek werd de mest met citroenzuur aangezuurd tot een pH van 6,0 en geënt met het micro-organisme *Lactobacillus plantarum*. Nadien werd de mest éénmaal per week naar de centrale mixput gepompt. Een deel werd van hieruit naar de centrale mestopslag afgevoerd en het andere deel werd gemixt met de voeding en teruggepompt. Er werden drie verschillende voedingsbronnen gebruikt; tarwezetmeel, gemalen tarwe en aardappelzetmeel. Gemiddeld was per vleesvarkensplaats 1,6 kg gemalen tarwe per week nodig als voedingsbron voor de melkzuurbacteriën. Het resultaat was een gemiddelde pH van 6,1, tegenover een pH van 8,0 voor niet-microbieel aangezuurde vleesvarkensmest.

Dit alles resulteerde in een gemiddelde ammoniakemissie van 1,33 kg per dierplaats per jaar. Dit is een reductie van 47% tegenover een referentiestal (2,5 kg NH₃/dierplaats/jaar). Een bijkomend voordeel naar de praktijk toe is het feit dat de bacteriën bestand blijken te zijn tegen de gehanteerde dosering van diverse in de praktijk gebruikte ontsmettingsmiddelen. Niettegenstaande de goede testresultaten, is het microbieel aanzuren vanwege de hoge exploitatiekosten nog niet bruikbaar in de praktijk. De totale extra jaarkosten voor het

microbieel aanzuren van vleesvarkensmest zijn berekend op 720 tot 750 BEF per vleesvarkensplaats, afhankelijk van het staltype. Het grootste deel (ongeveer 590 BEF) is nodig voor de voeding van de bacteriën. De andere extra kosten zijn afkomstig van investeringen, elektriciteitskosten en mestafzetkosten.

5.4.1.3.2 Kanne Getreide Flussig®

Dit is een zuurproducerend middel dat o.a. bij de bereiding van zuurdesembrood gebruikt wordt. Testen uitgevoerd aan het proefstation voor varkenshouderij te Rosmalen, die op dezelfde manier uitgevoerd werden als aan het IMAG-DLO, gaven niet het gewenste resultaat.

5.4.2 Ammoniumabsorberende producten

Deze producten binden ammonium door ionenwisseling. Om de ammoniakemissie werkelijk te beïnvloeden, moet een grote hoeveelheid product worden toegevoegd, omdat gelijktijdig met ammonium ook andere ionen worden gebonden (Oosthoek en Voorbrug, 1992). Bij het gebruik van ammoniumabsorberende middelen blijft het procentueel aandeel van ammoniak in het $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ evenwicht ongewijzigd. Doordat ammonium aan de oplossing onttrokken wordt door absorptie, daalt de hoeveelheid ammoniak in de oplossing.

5.4.2.1 Zeolieten

Deze producten bestaan hoofdzakelijk uit aluminiumsilicaten met een open kristalstructuur, bijvoorbeeld kleimineralen. Er bestaan zowel natuurlijke zeolieten, ontstaan door verwerking van vulkanische gesteenten, als synthetische zeolieten. Door hun open structuur en dimensies ervan, hebben zij een zekere specificiteit voor bepaalde ionen op basis van hun deeltjesgrootte. De bindingsreeks van een kleimineraal is dus niet alleen afhankelijk van de lading, maar ook van de grootte van het ion. Van klinoptiloliet en Na-bentoniet is aangetoond dat zij een ammoniumion kunnen binden (Verdoes en de Haar, 1990).

Proeven aan de Landbouwniversiteit van Wageningen hebben uitgewezen, dat 1 kg klei hooguit 0,3 mol ammonium kan binden. Eén kubieke meter varkensmest bevat gemiddeld 200 mol ammonium. Dit zou betekenen dat 6 à 700 kg klei moet toegevoegd worden per m³ mest (Boerderij, 1992). Bernal et al. (1992) hebben naast de NH₄⁺ absorptie van zeolieten, ook de NH₃ absorptiemogelijkheden onderzocht. Men heeft vastgesteld dat de hoeveelheid water aanwezig in de lucht, een belangrijke factor is bij het bepalen van de effectiviteit van het desbetreffende zeoliet. Indien het water geabsorbeerd wordt aan de openingen van de inwendige kanalen, blokkeert het deze, met als gevolg een sterke daling van het NH₃-absorptievermogen. Uit proeven uitgevoerd aan het IMAG-DLO en aan het proefstation voor varkenshouderij te Rosmalen, is gebleken dat de gebruikte zeolieten geen vermindering van de ammoniakemissie teweegbrachten.

5.4.2.2 Penac-GÒ

Dit product bestaat voor 99,2% uit SiO₂. Penac-G® zou ammonium absorberen en de microbiële groei stimuleren. Het mechanisme hiervoor is totaal onduidelijk. Andersson (1995) analyseerde het effect van Penac-G® op de ammoniakemissie. De testen werden uitgevoerd op koemest onder labo-omstandigheden. De verschillende meststalen, met een overeenstemmende hoeveelheid van het additief, werden in de meetkamer gebracht. Deze deed dienst als klimaatkamer, waarbij men volgende parameters onder controle kon houden: luchtdebiet, temperatuur van de ingaande lucht en de mesttemperatuur. De ammoniakemissie werd bepaald door middel van een continue meting van zowel de ammoniakconcentratie als het luchtdebiet. Men stelde geen reductie van de ammoniakemissie vast. Een mogelijke verklaring is, dat het toevoegen van dit additief resulteerde in een stijging van de pH (Witter, 1991). Andersson testte naast Penac-G® ook nog een ander product (Fly ash®) dat gebaseerd is op SiO₂. Fly ash® gaf eveneens niet het gewenste resultaat.

5.4.3 Middelen die bacteriën en/of enzymen bevatten

De werking van bacteriën uit deze preparaten berust op het onttrekken van ammoniak/ammonium aan de vloeistoffase van de mest door nitrificatie en/of incorporatie van NH_x (= NH₃ + NH₄⁺) in de bacteriecel. De nitrificatie wordt gevolgd door denitrificatie,

wat gepaard gaat met stikstofverliezen. De incorporatie van NH_x in de bacteriecel vergt veel koolstof. Een deel hiervan is nodig voor de vorming van microbieel eiwit, het andere deel zorgt voor het leveren van de energie en wordt omgezet tot CO_2 .

De enzymen uit deze preparaten hebben een belangrijke taak. Door minder toegankelijke verbindingen af te breken, stellen ze gemakkelijker afbreekbare verbindingen ter beschikking van de toegevoegde bacteriën. Anderzijds kunnen de enzymen ook bijdragen tot de afbraak van geurcomponenten.

Vanwege het productiegeheim wordt de juiste samenstelling van de bacteriën- en enzymenmengsels meestal niet vrijgegeven. Gezien de complexiteit van de processen in de mest is het ook vaak moeilijk te achterhalen wat het juiste mechanisme van het additief is. Bijgevolg is het moeilijk in te schatten aan welke voorwaarden de mest moet voldoen opdat het additief een positief effect heeft op de ammoniakemissie.

5.4.3.1 De-Odorase®

Dit product is verkrijgbaar in vloeibare vorm (mestadditief) en in poedervorm (voederadditief). Een eerste belangrijke groep van bestanddelen zijn de Yucca shidigera extracten, afkomstig van de Yucca shidigera plant. De actieve componenten zijn de saponinen. Deze zorgen voor een remming van de urease-activiteit en ze stimuleren de microbiële groei. Wanneer bacteriën ammoniak gebruiken als stikstofbron voor de bouw van hun cellulaire proteïnen, dan kan er minder ammoniak naar de atmosfeer diffunderen. Daarnaast zouden saponinen ammoniak absorberen. Dit werd enkel vastgesteld, het mechanisme van absorptie is niet duidelijk (de Koning, 1994).

Een tweede belangrijke groep van ingrediënten zijn de enzymen. De-Odorase® bevat schimmel- en bacteriële amylasen, schimmelproteasen en cellulasen. Naast de reeds aanwezige enzymen zorgt Bacillus subtilis voor de productie van amylasen, proteasen en cellulasen. De aldus ontstane peptiden, aminozuren, suikers en diverse koolhydraten vormen een voedingsbodem voor bacteriële groei. Enkel bij het De-Odorase® poeder voegt men nog

een extra bestanddeel toe, namelijk *Lactobacillus acidophilus*. Het is een melkzuurbacterie die de vrije ammoniak en ureum, gevormd in het maagdarmkanaal, voor de vorming van haar biomassa gebruikt.

Het effect van De-Odorase® op de ammoniakreductie is reeds veelvuldig bestudeerd. Amon et al. (1994) deden testen in mechanisch geventileerde varkensstallen, waarbij de mest werd opgeslagen in mestkanalen onder een roostervloer. Gedurende 7 weken werd er dagelijks De-Odorase® aan het voedsel en aan de mest toegevoegd. De ammoniakconcentratie werd éénmaal per week gemeten met behulp van Dräger tubes. Door deze te vermenigvuldigen met het gemeten luchtdebiet, bekomt men informatie over de ammoniakemissie. Deze resultaten gaven een reductie van de ammoniakemissie over 7 weken van 26%.

Kemme et al. (1993) vond in eerste instantie geen ammoniakreductie bij het gebruik van *Yucca shidigera* extracten, die aan de voeding van varkens werden toegevoegd. Maar bij een tweede test, met 6 maal de aanbevolen hoeveelheid door de fabrikant, stelde men een reductie van 22% vast. Headon et al. (1993) hebben het effect van De-Odorase®, toegevoegd aan de voeding, onderzocht in varkensstallen. Uit de resultaten bleek een reductie van de ammoniakconcentratie met meer dan 50% mogelijk. Maar vermits men geen informatie had over de ventilatiedebieten, kan men zich niet uitspreken over de resultaten aangaande de ammoniakemissie.

Volgens een proef uitgevoerd op een varkensbedrijf in de USA, resulteert het toevoegen van 113 g sarsaponin (behoort tot de groep van saponinen) per ton voeder plus 40 g sarsaponin/m³ mest in de mestkelder na vier weken in een reductie van 34% van de ammoniakconcentratie in de stallucht (Alltech, producent van De-Odorase®).

Als conclusie kan men stellen dat De-Odorase® effectief is voor het reduceren van de ammoniakemissie. Het heeft echter geen invloed op de geuremissie. Het gebruik van sarsaponinen zou volgens Alltech een positief effect hebben op de groei en op de voederconversie van vleesvarkens. Omwille van zijn relatief lage kostprijs, ongeveer 42 BEF

per afgeleverd vleesvarken, is het niet alleen een effectief maar ook een economisch haalbaar product.

5.4.3.2 Actilith®

Actilith® is een vast, melig product met een groot waterabsorberend vermogen. Het wordt boven op de roosters gestrooid waardoor de roosters droger blijven. Actilith® is niet giftig en mag door dieren opgenomen worden. De belangrijkste bestanddelen zijn: ammoniumvormende bacteriën, gisten en ascoparm, lithothamnium en enzymen. Het ascoparm is een gedroogd en gemalen zeewier. Het vormt samen met de gisten het voedsel voor de bacteriën. Lithothamnium is een koraal dat zorgt voor de creatie van een zone waarin de groei van de ammoniumvormende bacteriën begunstigd wordt. Verder heeft Lithothamnium een sterk waterbindend vermogen. De enzymen die in Actilith® aanwezig zijn, zorgen voor een degradatie van geurcomponenten. De kostprijs van het product bedraagt 36 tot 43 BEF per vleesvarken.

Proeven gepubliceerd door Land Agri, uitgevoerd op drijfmest in een vleesvarkensstal, gaven een gemiddelde emissiereductie van 64% over een periode van 4 maand. Dochy (1994) onderzocht eveneens het effect van Actilith® op de ammoniakreductie. De testen werden uitgevoerd op vleesvarkensmest onder labo-omstandigheden. Hierbij maakte men gebruik van 2 identieke bakken elk gevuld met mest. De ene deed dienst als test, en de andere als referentie. Hierover werd lucht gepompt. De bepaling van de ammoniakemissie gebeurde aan de hand van het meten van de ammoniakconcentratie (wasfles gevuld met boorzuur), en de meting van het luchtdebiet. Om de praktijkomstandigheden zo dicht mogelijk te benaderen werd er dagelijks mest toegevoegd aan de bakken. Gedurende de proefperiode van 50 dagen had de toediening van het product Actilith® geen invloed op de ammoniakemissie.

Men kan besluiten dat Actilith® niet effectief is als men het rechtstreeks aan de "mestkelder" toevoegt. Maar Actilith® is een sterk vochtabsorberend product. Bij het uitstrooien over een roostervloer zal de rooster droger worden. Vochtonttrekking zorgt voor een vermindering van de urease-activiteit. Het is dus niet uitgesloten dat Actilith® bij uitstrooien over de roostervloer de ammoniakemissie op de rooster vermindert. Verder onderzoek voor de toepassing van Actilith® in de praktijk is echter aangewezen.

5.4.3.3 Nitrazyme®

Dit is een bacteriën- en enzymenpreparaat dat eerst geactiveerd moet worden in lauw water, alvorens het in de mestkelder te gieten. Het product heeft als doel alle ontstane en aanwezige ammoniak om te zetten naar nitraat. Hierdoor daalt het ammoniakgehalte in de oplossing, wat op zijn beurt resulteert in een verminderde ammoniakemissie.

Van Soest (1994) toonde aan dat Nitrazyme® in labo-omstandigheden met een ideale voedingsbodem weinig of geen nitrificerende activiteit bezit. Uit proeven uitgevoerd aan het proefstation voor Varkenshouderij te Rosmalen en door Dochy (1994), bleek eveneens dat Nitrazyme® niet in staat is om de ammoniakemissie te reduceren.

5.4.3.4 Amibac®

Amibac® bevat enkel bacteriën, de enzymen worden geproduceerd door deze bacteriën. Deze enzymen zorgen voor de ontsluiting van weinig toegankelijk materiaal in de mest, zoals cellulose. De groei van de bacteriën is de oorzaak van de daling van het ammoniakgehalte in de oplossing door gebruik van de ammoniakale stikstof voor de vorming van bacterieel eiwit. Het product moet slechts éénmaal per jaar aan de mestkelder worden toegediend (bacteriënoplossing en voedingsbodem). De kostprijs bedraagt ongeveer 45 BEF per afgeleverd vleesvarken. Proeven uitgevoerd door Ongenaert (1993) gaven een gevoelige reductie van de ammoniakconcentratie net boven de rooster. Maar vermits men geen inlichtingen had over de ventilatiedebieten, kan men zich niet uitspreken over de resultaten aangaande de ammoniakemissie.

5.4.3.5 Bionovase®

Bionovase® bevat exogene enzymen, bacteriën, gisten en schimmels. De schimmels en gisten produceren amylasen en cellulasen. Hierdoor wordt een ideaal microklimaat gecreëerd voor de toegevoegde bacteriën. Deze organismen zorgen ervoor dat er extra koolstof ter

beschikking komt, met een verbeterde microbiële werking tot gevolg. De ammoniakconcentratie verlaagt door een hogere incorporatie van N in de bacteriële cellen en door de afname van de putractive geurvorming.

Coenegrachts et al. (1995) en Hendriks et al. (1998) bestudeerden het gebruik van Bionovase® als mestadditief gedurende een meetcampagne van meerdere jaren. Het experiment vond plaats in een mechanisch geventileerde vleesvarkensstal, uitgerust met betonnen roosters waaronder een diepe mestput ligt. De additieven werden toegevoegd via de roosters aan de mestput, na het leegtrekken van deze laatste. De ammoniakemissie werd bepaald aan de hand van een continue meting van de ammoniakconcentratie en het ventilatie-debiet. Men stelde vast dat de waarden van de ammoniakemissie per kg levend gewicht in het compartiment met de additieven lager zijn dan de waarden in de referentiecompartimenten, respectievelijk 19% en 50% voor de zomer- en winterperiode. Onderzoek naar de dosering en het juiste tijdstip van toediening, kunnen het gebruik van additieven economisch haalbaar maken. Volgens de producent moet een kostprijs van 19 BEF per afgeleverd varken mogelijk zijn.

5.4.3.6 Byotech mestÒ

Dit product is een bacteriënmengsel dat slechts éénmaal per jaar moet toegediend worden aan de mest. Byotech mest® zou nitrificatie in de mest bewerkstelligen. Verdere gegevens over de efficiëntie van dit product ontbreken.

5.4.4 Chemische middelen

5.4.4.1 NeutromixÒ

Dit is een volledig biologisch afbreekbaar product. Verdere gegevens in verband met de juiste samenstelling ontbreken. Neutromix® zijn schijven die doorheen de gleuven van de rooster in de mestkelder gebracht worden. Proeven uitgevoerd aan het proefstation voor Varkenshouderij te Rosmalen, toonden aan dat Neutromix® niet in staat is om de ammoniakemissie te reduceren.

5.4.4.2 S.62Ò

Dit is een koperoplossing die het bacterieleven in de mest remt. Hierdoor wordt de aanmaak van urease geremd. Wanneer bacteriën reeds urease hebben aangemaakt, heeft het gebruik van dit product geen zin meer. Daarom moet dit middel bij het ontstaan van de mest direct toegevoegd worden. Hoe het product in de praktijk moet toegepast worden is niet duidelijk. Bovendien is aanrijking van mengmest met koper milieubelastend. Metingen uitgevoerd aan het IMAG-DLO toonden aan dat S.62® geen vermindering van de ammoniakemissie gaf.

5.4.4.3 KaptoÒ

Kapto® bevat als voornaamste actieve component 12% formaldehyde. Formaldehyde wordt in de analytische chemie gebruikt voor het doseren van ammonium (formoltitratie), waarbij hexamethyleentetramine gevormd wordt. Bovendien heeft Kapto® een pH-waarde van vier. Hierdoor daalt de pH van de behandelde mest, zodat dit op zich reeds een reductie van de ammoniakemissie geeft.

Het product Kapto® werd ontworpen met als doel de ammoniakemissie tijdens het bovengronds uitrijden van de mest te beperken. In proeven uitgevoerd aan de K.U.Leuven (Laboratorium voor Bodemvruchtbaarheid en Bodembioïologie o.l.v. Prof. Vlassak) bleek een ongeveer lineair verband te bestaan tussen de toedieningsdosis en de emissiereductie. Uit deze regressie blijkt dat bij een dosis van 3% Kapto® de emissiereductie bijna 100% zou bedragen. Uit proeven uitgevoerd aan het IMAG-DLO en door Dochy (1994), bleek dat Kapto® zeer goede resultaten gaf. Er werd een reductie van de ammoniakemissie bekomen van respectievelijk 75% en 61%.

Het gebruik van Kapto® leidt dus tot een reductie van de ammoniakemissie, maar er zijn enkele bezwaren tegen het gebruik ervan. Een kostprijs van 125 BEF per afgeleverd vleesvarken is te hoog om economisch haalbaar te zijn. Bovendien is dit enkel de kostprijs van het product. Bij de prijsberekening moet men ook rekening houden met het feit dat

Kapto® een intensieve vermenging met de mest vergt. Dit brengt extra energiekosten met zich mee. Tenslotte moet erop gewezen worden dat formaldehyde een toxisch product is waarmee voorzichtig moet worden omgesprongen. Als conclusie kan men stellen, dat het gebruik van Kapto® onuitvoerbaar is in de praktijk.

5.4.4.4 Superfosfaat

Dit product bevat 50% monocalciumfosfaat ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) en 50% gips (CaSO_4). Beide bestanddelen kunnen ammoniak binden, zodat er minder ammoniak beschikbaar is voor emissie.

Andersson (1995) analyseerde het effect van Stalosan® en Kemira No. 2® op de ammoniakemissie. Beide producten bevatten superfosfaat als hoofdbestanddeel. Eén week na het starten van het experiment met Stalosan® en Kemira No. 2® bewam men een reductie van de ammoniakemissie van respectievelijk 60% en 40%. Als mogelijke verklaring voor dit goede resultaat gaf men aan dat de carbonaationen die aanwezig zijn in de mest, neerslaan als calciumcarbonaat. Dit zorgt voor een pH-daling, wat op zijn beurt resulteert in een daling van de ammoniakemissie. Maar een economische evaluatie van beide producten, gaf aan dat deze methode te duur is om toegepast te worden in de praktijk. Bovendien vormt de verhoging van het fosfaatgehalte in de mest een bijkomend nadeel.

5.4.4.5 Ijzersulfaat

Deze stof is in staat ammoniak te binden. Moore et al. (1994) onderzochten het effect van ijzersulfaat op de ammoniakreductie. De testen werden uitgevoerd op pluimveemest onder labo-omstandigheden gedurende een periode van 42 dagen. Men maakte gebruik van luchtdichte containers, die met pluimveemest gevuld werden. De ontsnapte ammoniak werd opgevangen in boorzuur, die dagelijks getitreerd werd voor de bepaling van de ammoniakconcentratie. Men bewam een reductie van 58%. Verdere gegevens omtrent kostprijs en dergelijke ontbreken, zodat men zich niet kan uitspreken over de praktische uitvoerbaarheid ervan.

5.4.4.6 Fosforzuur en magnesiumoxide

Door toevoeging van deze producten wordt het moeilijk oplosbare magnesiumammoniumfosfaat gevormd. Dit product kan samen met het dikke deel van de mest afgescheiden worden en is bruikbaar als meststof. Verdere gegevens ontbreken.

5.4.4.7 CaCl_2

Het toevoegen van CaCl_2 zorgt ervoor dat HCO_3^- , aanwezig in de mest, neergeslagen wordt als CaCO_3 . Hierdoor daalt de CO_2 -emissie uit de mest. Dit heeft een gunstige invloed op de pH van de mest, zodat de ammoniakemissie zal dalen. Witter (1991) bestudeerde het gebruik van CaCl_2 op kippenmest. Uit de resultaten van het experiment uitgevoerd op labo-schaal, bleek een ammoniakreductie van 37% mogelijk. Andersson (1995) analyseerde het effect van Kemira No.5® en No.15® op de ammoniakemissie. Beide producten bevatten calciumchloride als hoofdbestanddeel. Enkel Kemira No.5®, dat naast CaCl_2 ook turf bevat, bleek in staat te zijn de ammoniakemissie te reduceren. Bij de test met Kemira No.15® bekwam men ten opzichte van een controletest een grotere ammoniakemissie. Om zich te kunnen uitspreken over de praktische uitvoerbaarheid van CaCl_2 , is verder onderzoek vereist.

5.4.4.8 Aluin en HiClay® aluinaarde

Moore et al. (1994) onderzochten het effect van aluin op de ammoniakreductie. Men bekwam een reductie van 99%. Er werden ook nog andere producten zoals MLT, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, acid mine soil en afvalproducten van aluminiumfabrieken getest. Geen van alle kon de ammoniakemissie reduceren. Keener et al. (1996) bestudeerden het gebruik van Aluin en HiClay® aluinaarde op labo-schaal met pluimveemest. Bij het gebruik van 1-2% aluin of 10-20% HiClay® aluinaarde met papiervezels (pH 8-10,5) is een reductie van 10-30% mogelijk. Maar vermits de bekomen resultaten sterk varieerden, is verder onderzoek aangewezen. Een test waarbij zowel aluin en papiervezels als zwavelzuur gebruikt werden, gaf wel een éénduidig positief resultaat.

5.4.5 Praktische uitvoerbaarheid

Aan de hand van deze informatie wordt nagegaan of de bovenvermelde mestadditieven toegepast kunnen worden in de praktijk. De beslissing over het al dan niet praktisch uitvoerbaar zijn, wordt voor elk product afzonderlijk beoordeeld aan de hand van 3 criteria. Het eerste criterium gaat na of het desbetreffende additief een effectieve daling van de ammoniakemissie kan bewerkstelligen. Het tweede belangrijke criterium gaat na of het gebruik ervan in de praktijk economisch haalbaar is. In het derde criterium worden de nevenaspecten zoals veiligheid, milieubelasting, etc. opgenomen. Onderstaande tabel 63 geeft een overzicht.

Tabel 63. Overzicht mestadditieven

Mestadditief	Technisch mogelijk	Economisch haalbaar	Neven-aspecten	Praktisch uitvoerbaar
HCl	++	-	-	-
H ₃ PO ₄	++	-	-	-
H ₂ SO ₄	++	-	-	-
HNO ₃	++	-	-	-
Amguard®	++	-	+	-
Clean Air 1®	-		+	-
Melkzuur	++	-	+	-
Lactobacillus Plantarum	++	-	+	-
Kanne Getreide Flussig®	-		+	-
Zeolieten	-			-
Penac G®	-			-
De-Odorase®	+	+	+	+
Actilith®	-/+	+	+	-/+
Nitrazyme®	-			-
Amibac®		+		
Bionovase®	+	+	+	+
Byotech mest®				
Neutromix®	-			-
S.62®	-		-	-
Kapto®	++	-	-	-
Superfosfaat	++	-	-	-
Ijzersulfaat	++			
Fosforzuur & Magnesiumoxide				
CaCl ₂	-/+			
Aluin & HiClay® aluinaarde	+			
Legende: ++ zeer goed; + goed; - niet goed				

Het gebruik van anorganische zuren als mestadditief is zeer efficiënt, maar omwille van de hoge kostprijs en de nadelige nevenaspecten kunnen ze niet toegepast worden in de praktijk.

In het algemeen zijn organische zuren niet alleen zeer efficiënt maar ze bezitten bovendien ook enkele positieve nevenaspecten. Helaas vormen de hoge kosten een struikelblok voor de toepassing ervan in de praktijk. De kostprijs voor het gebruik van Amguard® en Melkzuur bedraagt respectievelijk 190 en 440 BEF per afgeleverd vleesvarken. Voor de zuurproducerende middelen kan men dezelfde opmerking als bij de organische zuren maken. De kostprijs voor het aanwenden van *Lactobacillus plantarum* bedraagt 250 BEF per afgeleverd vleesvarken.

De ammoniumabsorberende producten zijn niet bekwaam de ammoniakemissie te reduceren en kunnen dus ook niet ingezet worden in de praktijk.

Uit een analyse van de middelen die bacteriën en/of enzymen bevatten, bleken 2 producten geschikt te zijn voor de toepassing ervan in de praktijk. Het gaat hier over de producten De-Odorase® en Bionovase®. De kostprijs van deze twee producten is aanvaardbaar voor de praktijk, en bedraagt respectievelijk 42 en 19 BEF per afgeleverd vleesvarken. Het werkingsprincipe van beide producten is hoofdzakelijk gebaseerd op het stimuleren van de microbiële groei. Wanneer bacteriën ammoniak gebruiken als stikstofbron voor de bouw van hun cellulaire proteïnen, dan kan er minder ammoniak naar de atmosfeer diffunderen. Het product Actilith® biedt hoopvolle perspectieven, maar verder onderzoek naar de toepassing ervan in de praktijk is aangewezen. De andere producten kunnen momenteel niet ingezet worden in de praktijk omdat ze niet effectief zijn, ofwel omdat men over onvoldoende informatie beschikt om een oordeel te kunnen vellen.

Van de chemische middelen zijn de producten Kapto® en Superfosfaat zeer efficiënt, maar omwille van de hoge kostprijs en hun nadelige nevenaspecten kan men ze niet toepassen in de praktijk. Ijzersulfaat, Aluin en HiClay® Aluinaarde reduceren de ammoniakemissie, maar vermits er geen gegevens beschikbaar zijn in verband met de kostprijs, is het niet duidelijk of

ze toegepast kunnen worden in de praktijk. Het product CaCl_2 is hoopvol, maar verder onderzoek is aangewezen. Vermits de andere producten niet doeltreffend zijn of omdat men te weinig over hun efficiëntie weet, kan men ze momenteel niet in de praktijk inzetten.

5.4.6 Controleerbaarheid

De controleerbaarheid is een zwak punt bij mestadditieven. Een controle via de aankoopfacturen van de additieven behoort tot de mogelijkheden. Dit is echter geen controle op het goede gebruik (en werking) van het additief. Voor sommige additieven (vb. zuren, ...) kan een regelmatige analyse van een meststaal een oplossing bieden. Bij andere producten waarvan het werkingsmechanisme onvoldoende gekend is zou een inspectie moeten gepaard gaan met een meting gedurende enkel dagen tot weken om een indicatie te krijgen over de werking van het product.

Enkele Groen Label concepten maken gebruik van additieven, bijvoorbeeld als toevoeging bij het spoelwater. Ook de andere additieven zouden best ingepast worden in een stalconcept, zodat additieven een gelijkaardige erkenning zouden kunnen verkrijgen.

5.5 Reductietechnieken voor mestopslag

Voor een goede schatting van de totale ammoniakemissie uit externe opslag van mest zijn er onvoldoende gegevens beschikbaar. Volgens Pollet et al. (1996) bedroeg in 1992 de emissie uit externe opslag van mengmest 10 ton NH_3 . Hierbij werd wel verondersteld dat alle externe opslag in Vlaanderen reeds overdekt is. De ammoniakemissie afkomstig van externe opslag van vaste (vleeskuikens)mest werd geschat op 216 ton NH_3 per jaar. De emissie van de externe opslag van leghennenmest zit hoofdzakelijk vevat in de emissiefactoren voor de stallen. De emissie van vaste mest afkomstig van andere diersoorten is zeer moeilijk in te schatten.

Hieruit kan men besluiten dat de emissie van externe mestopslag slechts enkele honderden tonnen NH_3 per jaar kan bedragen. Op een totale emissie van naar schatting 66.246 ton NH_3 in 1992 betekent dit slechts een bijdrage van minder dan 1%.

Mest wordt extern opgeslagen in: overdekte mestkelder buiten de stal, een al dan niet overdekte mestsilo, een mestzak of in een grondput buiten de stal. De wijze van opslag bepaalt sterk de emissie. Een grondput buiten de stal heeft waarschijnlijk de hoogste emissie. Een overdekte mestopslag veroorzaakt een zeer lage emissie door het beperkte contact tussen mest en lucht.

Het proces van ammoniakvrijzetting uit de mest van externe opslag is functie van vele parameters. De invloed van de opslagduur, de klimaatomstandigheden, de mestsamenstelling en de wijze van opslag is moeilijk in te schatten. Voor vaste mest spelen vooral de opslagomstandigheden (aëroob of anaëroob) en het DS-gehalte een belangrijke rol.

5.5.1 Reductietechnieken

De meest efficiënte reductietechniek is het overdekken van de mestopslag. De gebruikte materialen bepalen hoofdzakelijk de reductie-efficiëntie. Een rigide

overdekking zoals een tentzeil, een betonnen of ijzeren overdekking, enz. kunnen beschouwt worden als het meest effectief (70% tot 90% reductie) (CLRTAP, 1995, De Bode, 1991, Williams and Nigro, 1997). Een mestzak behoort ook tot de mogelijkheden. Deze technieken bieden het bijkomend voordeel dat het hemelwater niet bij de mest komt. Minder effectief, een geschatte reductie van 50% tot 80%, zijn o.a. drijvende folies, een polystyreen laag, een strokorst (CLRTAP, 1995, Thompson J., 1997, Miner and Suh, 1997, Hüther et al., 1997). Bij opslag van mest van melkvee kan er in bepaalde omstandigheden een natuurlijke korst gevormd worden op de mest (Hüther et al., 1997).

Het aanpassen van de mestsamenstelling is een andere reductietechniek. Een verlaging van de pH tot 4,5 kan de emissie reduceren met 70% tot 90% (CLRTAP, 1995). De hoge kostprijs, technische problemen en het gevaar bij het werken met sterke zuren maken dit echter een minder geschikte techniek. Voor de mogelijkheden van andere additieven verwijzen we naar het deel mestadditieven. Vaak zijn er echter onvoldoende gegevens beschikbaar om de effectiviteit te kunnen inschatten.

De emissie veroorzaakt door de externe opslag van vaste mest is moeilijk te reduceren. Tot op heden is er onvoldoende informatie beschikbaar.

De emissie van externe opslag van kippenmest is sterk afhankelijk van het DS-gehalte van de mest. Bij een DS-gehalte van >70% stopt de ammoniakvrijzetting vrijwel volledig (CLRTAP, 1995). Voor leghennen gehuisvest in batterijen zijn er zogenaamde nageschakelde technieken, die de mest verder drogen, ontwikkeld. De droogtunnel en het HELI-systeem zijn twee mogelijkheden (Bondt et al., 1995). Een aantal Groen Label stallen zijn gebaseerd op mestdroging in de stal. Dit resulteert natuurlijk ook in een verlaagde emissie bij externe opslag van de mest. Indien de mest niet verder gedroogd wordt kan deze best opgeslagen worden in een afgesloten container.

De Groen Label stallen voor vleeskuikens zijn allen gebaseerd op droging van de mest in de stal en bijgevolg kan men hierbij dus ook een verlaagde emissie bij externe opslag verwachten.

Het inschatten van de ammoniakemissie tijdens het laden en lossen van de mest is vrijwel onmogelijk. Vaak gaat het lossen en laden van de mest gepaard met een grondig mixen van de mest. Dit kan aanleiding geven tot een aanzienlijke ammoniakvrijzetting (CLRTAP, 1995).

5.5.2 Kosten

Het inschatten van de kostprijs van het overdekken van mestopslagen is moeilijk daar de kosten sterk afhankelijk zijn van de bedrijfssituatie, de reeds bestaande mestopslag. Onderstaande tabel 64 is een ruwe schatting van de jaarlijkse kostprijs. In KWIN-V (1998) worden volgende investeringskosten vermeld: 2300 BEF per vleesvarkensplaats, 13500 BEF per kraamhok, 5180 BEF per dragende-zeugplaats. Dit zijn de extra investeringen om een stal met 0,5 m diepe mestkelders te voorzien van voldoende externe mestopslag. Voor het drogen van leghennenmest uit batterijen moet men rekening houden met volgende jaarlijkse kosten: HELI-systeem 5,5 tot 7,6 BEF per plaats en per jaar; droogtunnel 7,2 tot 9,4 BEF per plaats per jaar (Bondt et al., 1995).

Tabel 64. Jaarlijkse kosten van overdekking van mestopslag (CLRTAP, 1996)

	Silo 425 m³	Silo 1025 m³
Vaste overdekking	60000-76000	80000-136000
Drijvende overdekking	36000-48000	56000-80000
Strokorst	16000-24000	24000-40000

5.5.3 Reductiepotentieel

Voor het afdekken van externe mengmestopslag kan gerekend worden met een reductiepotentieel van 50% tot 90% (CLRTAP, 1996). Het HELI-systeem en de droogtunnel reduceren de ammoniakemissie tot 0.01 kg NH₃ per plaats per jaar (reductie van 66%) voor opfokhennen en tot 0.015 kg NH₃ per plaats per jaar (reductie van 70%) voor leghennen.

6 Technisch-economische evaluatie van geurreductietechnieken op landbouwbedrijven

In deze paragraaf zal voor zover mogelijk een technisch-economische evaluatie van de geurreductietechnieken op landbouwbedrijven worden opgesteld. De meeste geurreductiepercentages die gevonden werden zijn gebaseerd op olfactometrische analyses. Via deze sensorische meetmethode worden alle componenten die bijdragen tot de geurproductie mee in rekening gebracht. Dit in tegenstelling tot chemische analyses, waar er steeds maar een beperkt aantal moleculen bekeken wordt.

Onderzoeken die in dit kader in de literatuur beschreven worden, werden vaak uitgevoerd op laboschaal. Dit heeft als voordeel dat er vergeleken wordt t.o.v. een referentie die, uitgezonderd de toegepaste geurreductietechniek, identiek is aan de te onderzoeken opstelling. Het nadeel is echter, dat er geen zekerheid bestaat dat de toegepaste techniek de zelfde werking en geurreductie op praktijkschaal mogelijk maakt. Een bijkomende moeilijkheid is dat er bij de onderzoeken waar getracht wordt een geurreductiepercentage op te stellen, er niet altijd een economische evaluatie van de techniek wordt gegeven. Meestal dient het bekomen geurreductiepercentage dan gekoppeld te worden aan een economische evaluatie van een gelijkaardige, maar niet identieke techniek.

Ook is de spreiding van de bekomen waarden, zowel voor de geurreductiepercentages als het kostenaspect, vaak te groot om een goede inschatting te kunnen maken naar de technisch-economische haalbaarheid van de geurreductietechniek. De grafiek (figuur 50) die een aantal technieken met elkaar vergelijkt, dient dus met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden. Uit deze grafiek blijkt dat volgens het meest gunstige scenario, waarbij per techniek de hoogste geurremissiereductie wordt weerhouden met de laagst mogelijke kostprijs, zowel het gebruik van een luchtzuiveringsinstallatie als het gebruik van mestadditieven het beste resultaat geven. Hier dient wel opgemerkt te worden dat zeker niet alle mestadditieven dergelijke hoge geurremissiereducties mogelijk maken. In tabel 65 wordt een overzicht gegeven van de geurreductiepercentages, gekoppeld aan een kostprijs.

Tabel 65. Overzicht van de verschillende geurreductiesystemen met hun respectievelijke geurreductiepercentages en kostprijs

Reductiesysteem	Mogelijke reductie	Kostprijs	Bron
Aanpassing huisevstingssysteem			
Groen Labelstal t.o.v. traditionele stal (vleesvarkens)	37 - 55 %		Verdoes & Ogink (1997)
• IC-spoelen • Farmex-spoelen • Cevardo spoelen (met water) • Hepaq spoelen • R & R koeldeksysteem (170 %) • R & R koeldeksysteem (200 %) • Optimaal hok met gescheiden mestkanalen • Mestkanaal met schuine putwanden		Jaarkost/plaats (incl. BTW) • 592 BEF • 610 BEF • 721 BEF • 574 BEF • 481 BEF • 518 BEF • 222 BEF • 222 BEF	KWIN-V (1998)
Gebruik van ondiepe mestkanalen met mestafvoersysteem en geïntegreerde ondergrondse mestopslag t.o.v. diep mestkanaal		Ondiepe : 10.249 BEF./ vleesvarken Diepe : 8.655 BEF / vleesvarken	Christiaens (1995)

Reductiesysteem	Mogelijke reductie	Kostprijs	Bron
Ondiepe mestkelders = ondiepe volledige onderkeldering Ondiepe mestkanalen = ondiepe onderkeldering, alleen onder de rooster • 1.5 m diepe kelders (referentie) • 0.5 m ondiepe mestkelders of kanalen • 0.5 m ondiepe kelders/kanalen + riolering • 0.5 m ondiepe kelders/kanalen + riolering + mestopslag in buitensilo		Gemiddeld investeringskost per vleesvarkensplaats. • 18.500 BEF • 16835 tot 20257 BEF • 17020 BEF • 19147 BEF	KWIN-V (1998)
Systemen ter bevordering van droog strooisel in vleeskuikensstallen : 1) Verhoogde strooiselvloer 2) Geperforeerde strooiselvloer		1) Vervangingswaarde: 163 BEF / kuikenplaats ; Afschrijving : 5.5 %; Onderhoud : 2 % 2) Vervangingswaarde 198 BEF / kuikenplaats ; Afschrijving : 3.5 %; Onderhoud : 0 %	KWIN-V (1998)

Reductiesysteem	Mogelijke reductie	Kostprijs	Bron
	Lagere vochtgehaltes van het strooisel zorgen voor lagere geuremissies (Metingen van geuremissie die rechtstreeks gecorreleerd zijn met het strooiselvochtgehalte ontbreken)		Clarkson & Misselbrook (1991)
Diepstrooiselsystemen voor vleesvarkens • Conventionele stal (referentie) • Finnfeeds diepstrooiselstal		• 6262 BEF / afgel. varken • 7000 BEF / afgel. Varken	van de Sande-Schellekens et al. (1993)
	Geuremissie reductie hoofdzakelijk gebaseerd op subjectieve geurwaarnemingen		Christiaens (1995) Huysman et al. (1993) Kay (1992) Nicks et al. (1997)
Aanpassing van de voeding		194 – 291 BEF / afgeleverd vleesvarken	Berckmans et al. (1999a)

Reductiesysteem	Mogelijke reductie	Kostprijs	Bron
	Mannelijk vleesvarkens : 48 -58 % Vrouwelijke vleesvarkens : 0 %		Hobbs et al. (1998)
Zuivering van de stallucht			
		Additionele kosten per varkensplaats/jaar ,excl. afvoer- en opslagkosten spuiwater (198 tot 711 BEF / varkensplaats/ jaar voor 1.3 m ³ spuiwater) : Biobed : - compost-boomschors : 1147 BEF - heide-vezelturf : 1276 BEF Biowasser : - 925 tot 1128 BEF	van de Sande-Schellekens & Backus (1993)
	85 - 90 % (bepaald via chemische analyse)	Totale kosten per slachtkip - Biobed : 11.5 BEF - Biowasfilter : 8.3 BEF Opm.: semibrutowinst per slachtkip : 5 à 5.5 BEF	Colanbeen & Neukermans (1992)

Reductiesysteem	Mogelijke reductie	Kostprijs	Bron
		Kosten combinatie - Biowasser/biofilter : 418 tot 458 BEF / vleesvarken per jaar	Siemers & van den Weghe (1997)
	61 - 89 %	Totale kosten per vleesvarken - Biowasser : 272 tot 511 BEF / vleesvarken per jaar	Laïs et al. (1997)
	• Tot 90 % • 50 % • Tot 90% • 50 %	• Totale kosten per afgeleverd vleesvarken : 341 BEF • Totale kosten per afgeleverd vleesvarken : 80 BEF • Totale kosten per kip per jaar : 59 BEF • Totale kosten per kip per jaar : 59 BEF	van Geelen & van der Hoek (1982)

Reductiesysteem	Mogelijke reductie	Kostprijs	Bron
		Investeringskosten : • 462 BEF per biggenplaats • 4625 BEF per kraamzeugenplaats • 2775 BEF per guste en dragende zeugenplaats • 1480 BEF per vleesvarken- of opfokzeugenplaats	Investeringslijst (1998)
Scheiding en beluchting van de mest			
	Geurvrij maken van de mest, gebaseerd op chemische analyses	Totale kosten per big : 28 BEF	Debruyckere et al. (1978)
	Geurvrij maken van de mest, gebaseerd op chemische analyses	Totale kosten per big : 31.60 BEF	Neukermans et al. (1979)
		Kosten per afgeleverd varken : 96 - 630 BEF	Burton (1992)

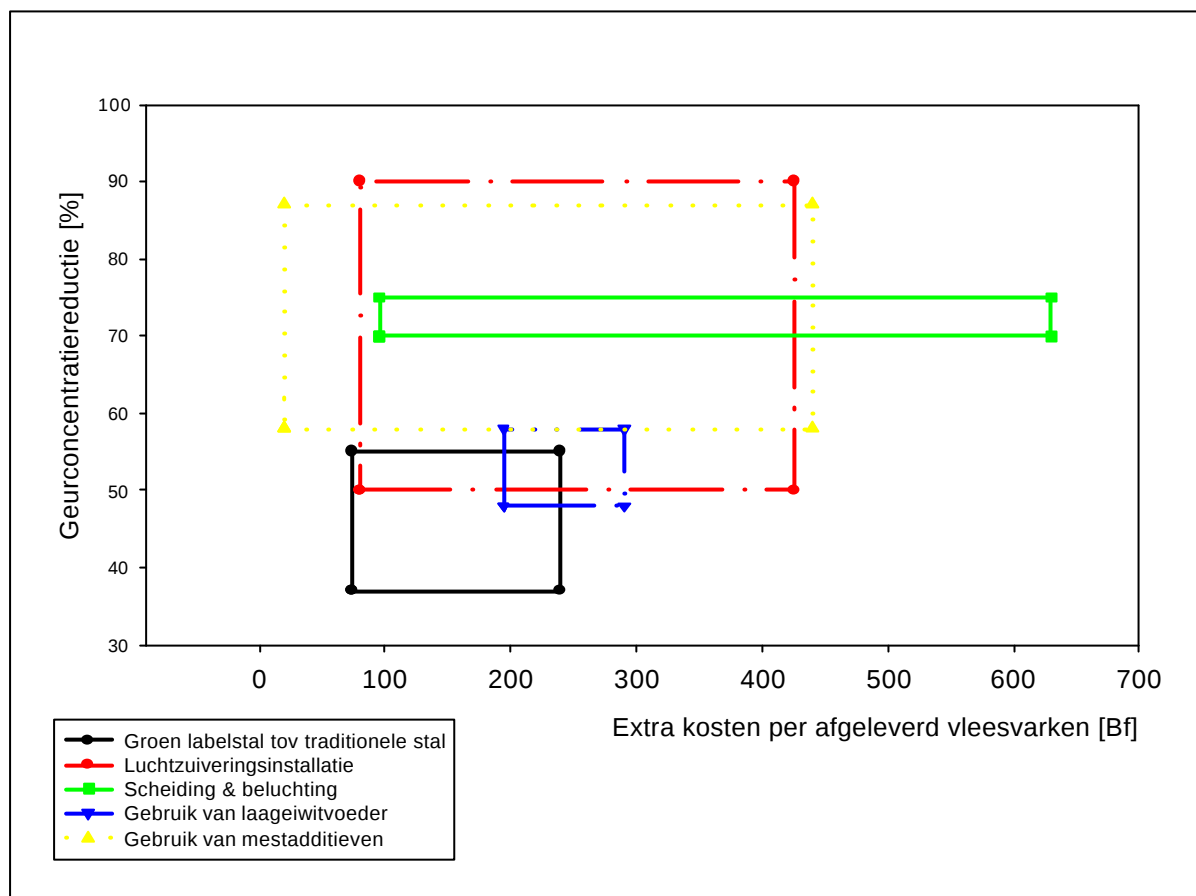
Reductiesysteem	Mogelijke reductie	Kostprijs	Bron
	Stalluchtmonster : $\pm 75 \%$ Omgevingslucht bij uitspreiding van mengmest : $\pm 98 \%$	Investering : • 2.000 BEF / kraamhok • 1.000 BEF / vleesvarkensplaats Totale werkingskosten : • +/- 50 BEF per afgeleverde big • +/- 200 BEF per afgeleverd vleesvarken	Neukermans & Colanbeen (1990)
		Spoelmestsysteem met mestbeluchting : 2.255 BEF/zeug/jaar voor een praktijkbedrijf met 200 zeugen (Berekend a.h.v. een extrapolatie van de kostprijs op een proefinstallatie)	Christiaens (1995)

Reductiesysteem	Mogelijke reductie	Kostprijs	Bron
		• Investering in een beluchtingsinstallatie voor dunne mestfractie v. veehouderijsystemen : 832.500 BEF • Omgekeerde osmose-installatie voor het scheiden van de dunne mestfractie van dierlijke mest in een dikke subfractie en loosbaar water : 1.850.000 BEF per installatie • Het scheiden van drijfmest in een dikke en dunne fractie met een mechanische mestscheider : 740.000 BEF per installatie • Nageschakelde mestdroogtechnieken voor pluimveemest, nadat deze uit de stal verwijderd is : 74 BEF / henplaats	Investeringslijst (1998) Investeringslijst (1998)
Toevoeging van additieven aan de mest	58 - 87 %	19 – 440 BEF / afgeleverd vleesvarken	Berckmans et al. (1999a)
Afdekken mestopslagplaats	• Geur kon niet waargenomen worden rond de opslagplaats	• Opblaasbaar zeil als afdekking : 600 BEF / tankopp. + werkingskosten (640 BEF / maand) • Betonnen afdekking van mestopslag : 1920 BEF / tankopp.	Zhang & Gaakeer (1998)

Reductiesysteem	Mogelijke reductie	Kostprijs	Bron
		Jaarlijkse kosten van overdekking van mestopslag : • vaste : 60.000 tot 136.000 BEF • drijvende : 36.000 tot 80.000 BEF • strokorst : 16.000 tot 40.000 BEF	Berckmans et al. (1999a)
		Extra investeringskost voor mestopslag in buitensilo, bij gebruik van ondiepe mestkelder/kanalen + riolering : 2.300 BEF / vleesv.pl., 13.000 BEF / kraamhok, 5180 BEF / dragende zeugplaats	KWIN-V (1998)
Uitspreiding van de mest	- Inwerken : 20-52 % - Lage-traject mestverpreider : 38 % - Ondiepe mestinjectie : 70 % Diepe mestinjectie : 83 %		Pain & Misselbrook (1995)

Reductiesysteem	Mogelijke reductie	Kostprijs	Bron
	- Lage-traject mestverpreider : 87 % - Ondiepe mestinjectie : 58 % - Diepe mestinjectie : 66 %	Extra kosten t.o.v. conventioneel verspreidingssysteem : Varierend van 5 % bij gebruik van lage-traject mestverspreider, tot 116 % als de mest een anaërobe voorbehandeling krijgt.	Phillips et al. (1990)
		Mestinjectie, zode-injectie en zodebemesting (machine + chauffeur) : 87 tot 144 BEF, indien de mest aanwezig is op het perceel	Hoekstra & Huijsmans (1990)
		Zodebemester / injecteur : 55 -273 BEF / m ³ mest Sleepvoeten /sleepkouter : 53 -154 BEF / m ³ mest Verdund verregenen : 75 - 308 BEF / m ³ mest	

Figuur 50. Technisch-economische evaluatie van een aantal geurreductietechnieken op een landbouwbedrijf

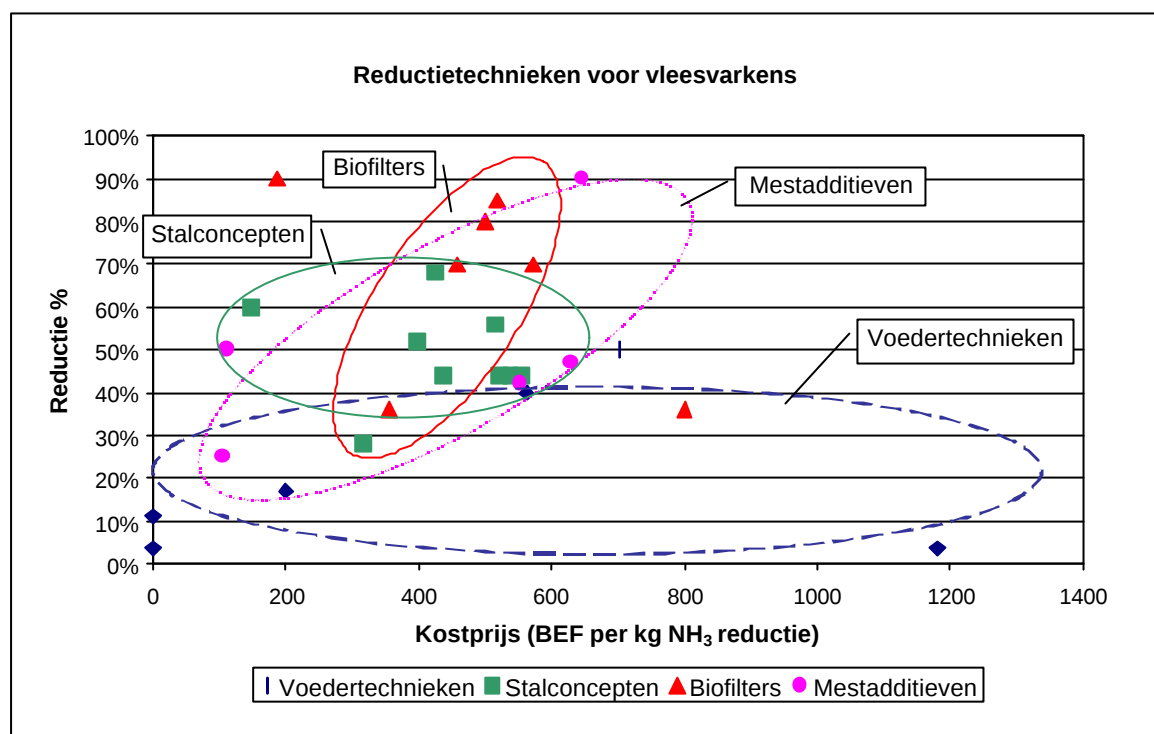


7 Technisch-economische evaluatie van ammoniakemissie-reductietechnieken op landbouwbedrijven

In deze paragraaf wordt een technisch-economische evaluatie van de ammoniakemissiereductietechnieken op landbouwbedrijven opgesteld. Figuur 51 geeft een overzicht van de beschikbare kostprijs-efficiëntie gegevens. Hierbij moet opgemerkt worden dat het vergelijken van de verschillende gegevens vaak moeilijk is. Bijgevolg moet figuur 51 met de nodige omzichtigheid benaderd worden.

De reductietechnieken voor de stal zijn opgedeeld in vier groepen: voedertechnieken, stalconcepten, biofilters en mestadditieven. Voor deze vier groepen werd tevens getracht de algemene trend aan te geven. Voedertechnieken hebben over het algemeen slechts een beperkte efficiëntie. De kostprijs van de voedertechnieken varieert tussen vrijwel 0 BEF tot 1200 BEF per kg NH_3 reductie (zie tabel 53). De kostprijs is sterk afhankelijk van de omstandigheden op het landbouwbedrijf. Daarnaast hebben voedertechnieken natuurlijk ook het voordeel dat zij de nutriëntenuitstoot (vermesting) reduceren. Mestadditieven kunnen goedkoop zijn maar behalen dan meestal een lagere efficiëntie (zie tabel 63) t.o.v. stalconcepten. Een hoger reductiepercentage kan behaald worden door het aanzuren van de mest. De kostprijs van deze techniek is echter vrij hoog. Bovendien is het controleren van het gebruik van mestadditieven moeilijker. Met biofilters kunnen zeer hoge reductiepercentage behaald worden (tot 90%, zie tabel 62). Ook hier is echter de kostprijs de spelbreker. Met nieuwe stalconcepten kan de efficiëntie oplopen tot meer dan 50% (zie tabel 58). De kostprijs is de laatste jaren positief geëvolueerd. Hierbij is wel van de veronderstelling uitgegaan dat de gerapporteerde efficiënties ook haalbaar zijn in praktijkomstandigheden.

Figuur 51. Technisch-economische evaluatie van een aantal ammoniakemissiereductietechnieken op een landbouwbedrijf



8 Literatuurlijst

- Aarnink A.J.A., (1997). Ammonia emission from houses for growing pigs as effected by pen design, indoor climate and behaviour. Ph. D. thesis Agricultural University Wageningen, 175 p.
- Aarnink, A. J. A., Keen, A., Metz, J. H. M., Speelman, L., & Verstegen, M. W. A. (1995). Ammonia emission patterns during the growing periods of pigs housed on partially slatted floors. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 62, 105-116.
- Aarnink, A. J. A., Cahn, T. T., & Verstegen, M. W. A. (1994). Influence of dietary factors on pH and ammonia emission from fattening pigs. *Journal of Animal Science*, 72(suppl.1), 324.
- Aarnink, A. J. A., Hoeksma, P., & van Ouwerkerk, E. N. J. (1993). Factors affecting ammonium concentration in slurry from fattening pigs. *Proceedings of the First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences* (pp. 413-420). Pudoc Scientific Publishers, Wageningen.
- Aarnink, A. J. A., Koetsier, A. C., & van den Berg, A. J. (1993). Dunging and lying behaviour of fattening pigs in relation to pen design and ammonia emission. *Livestock Environment. Fourth International Symposium* (pp. 1176-1183). American Society of Agricultural Engineers, Michigan, USA.
- Aarnink, A. J. A., Wagemans, M. J. M., & Keen, A. (1993). Factors affecting ammonia emission from housing for weaned piglets. *Proceedings of the First International Symposium on Nitrogen*

- Flow in Pig Production and Environmental Consequences (pp. 1176-1183). Pudoc Scientific Publishers, Wageningen.
- Agricultural Research Council (ARC). (1981). The nutrient requirements of pigs. Technical review by an ARC Working Party. Farnham Royal Slough, Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Al-Kanani T., Akochi E., MacKenzie A.F., Alli I. & Barrington, (1992). Odor Control in Liquid Hog Manure by Added Amendments and Aeration. *Journal of Environmental Quality*, 21, 704-708.
- Amon M., Dobeic M., Misselbrook T.H., Pain B.F., Phillips V.R. & Sneath R.W., (1995). A Farm-Scale Study on the Use of De-odorase for Reducing Odour and Ammonia Emissions from Intensive Fattening Piggeries. *Biosource Technology*, 51, 163-169.
- Andersson M. (1995). Performance of additives in reducing ammonia volatilization from cow slurry. *ISAFPW95* (pp. 583-589). ASAE.
- Anonymus. (1989). Ammonia emissions – Sources, sinks, effects, control. Arbeitsmaterialen des Bundesamtes für Ernährung und Fortwirtschaft, Frankfurt am Main, Germany, 1989.
- Anonymous. (1992). DVE Het nieuw eiwitwaarderingsysteem voor rundvee in België. Brussel: Ministerie van Landbouw, Bestuur voor Land- en Tuinbouw, Dienst Informatie.
- Anonymous. (1994). Proceedings of the Fourth Zodiac symposium. Biological basis of sustainable production. Wageningen, The Netherlands: EEAP Publication No. 67.
- Anonymus. (1991). Richtlijn ammoniak en veehouderij 1991. Ministerie LNV / Ministerie VROM.
- Anonymus. Stalbeschrijvingen Groen Label stallen. Stichting Groen Label, Postbus 70, 2280 AB Rijswijk, Nederland.
- Anonymus. (1992). Veevoeding en Milieu. Tweede Kamer Der Staten-Generaal, Vergaderjaar 1991-1992, 22 524 (nr.2).
- Aono, T., Nishina, H., Watanabe, N., & Hashimoto, Y. (1997). Ammonia Control by Removing Manure in Open Type Poultry House. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emission from animal production facilities, 311-316.
- Asman, W. A. H., & van Jaarsveld, H. A. (1990). Regionale und europaweite Emission und Verfrachtung von NH_x-Verbindungen. Ammoniak in der Umwelt (pp. 1-35). Landwirtschaftsverlag GmbH.
- Backus, G., van de Sande Schellekens, A., & Roelofs, P. (1992). Biowassers in PROPRO. Praktijk-Onderzoek Varkenshouderij, februari, nr 1, pp 2-6.
- Bens, P., Schellekens, J., & Thus, A. (s.d.). Mest- en mineralenoverschot op individuele varkensbedrijven. Rosmalen: IKC afdeling Varkenshouderij.
- Berckmans, D. (1986). Analyse van de klimaatbeheersing in dierlijke productie-eenheden ter optimalisering van de regeling. Unpublished doctoral dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, fac. agric. sciences. Ph.D.-thesis nr. 146, Leuven.
- Berg, W., & Hornig, G. (1996). Wirksame Emissionsminderung, Bietet die Ansauerung von Gülle neue Möglichkeiten. *Landtechnik*, 1, 24-25.

- Bernal, M. P., Lopez-Real, J. M., & Scott, K. M. (1992). Application of natural zeolites for the reduction of ammonia emissions during the composting of organic wastes in a laboratory composting simulator.
- Bleijenberg, R., Kroodsma, W., & Ogink, N. W. M. (1994). Technieken om de ammoniakemissie uit ligboxenstallen met roostervloer te beperken. IMAG-DLO, Rapport 94-35, 34.
- Bokma S., (1995). Mestsystemen voor pluim- en rundvee. In : Studiedag Stallenbouw en voorschriften : wat nu ?, Technologisch Instituut KVIV, Antwerpen, 26 oktober 1995.
- Bondt, N., Ellen, H., Frederix, B., Galien, J. v. d., van Horne, P., Wilderik, E., & Zanden, G. v. d. (1995). Huisvestingskosten pluimveehouderij. Beekbergen, Nederland: Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Informatie en Kennis Centrum Landbouw, afdeling Pluimveehouderij.
- Bourque D., Bisailon J., Beaudet R., Sylvestre M., Ishaque M. & Morin A., (1987). Microbiological degradation of malodorous substances of swine waste under aerobic conditions. *Applied Environmental Microbiology*, 53, 137-141.
- Braam, C. R., Ketelaars, J. J. M. H., & Smits, M. C. J. (1997). Effects of floor factor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science* , 45, 49-64.
- Bracher-Jacob, A., & Blum, J. W. (1990). Effects of a Bèta-adrenergic agonist on growth performance, body composition and nutrient retention in finishing pigs fed normal or low amounts of protein. *Animal Production*, 51, 601-611.
- Bries, J., Vanongeval, L., & Coppens, G. (1997). Variaties in samenstelling van dierlijke mest. Beïnvloedende factoren en te nemen voorzorgen voor een verantwoord gebruik als meststof. Technologisch Instituut., Studiedag Mestproblematiek.
- Bruce, J. M., & Clark, J. J. (1979). Models of heat production and critical temperature for growing pigs. *Animal Production*, 28, 353-369.
- Brumm, M. C., Pec, E. R., & Mader, T. L. (1985). Effect of dietary sarsaponin and chlortetrecycline on pig performance. *Journal of Animal Science*, 61 (suppl.1), 312.
- Buijsman, E., Maas, H. F. M., & Asman, W. A. H. (1987). Anthropogenic NH₃ emissions in Europe. *Atmospheric Environment*, 21(5), 1009-22.
- Buijsman, E., Maas, H., & Asman, W. A. H. (1985). A detailed ammonia emission map of the Netherlands. Rapport lucht 41, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Leidschendam, Nederland.
- Bundy D.S., Li X., Zhu J. & Hoff S.J., (1997). Malodour abatement by different Covering Materials. In : Ammonia and odour control from animal production facilities, Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, 413-420.
- Burton C.H., (1982). A Review of the Strategies in the Aerobic Treatment of Pig Slurry: Purpose, Theory and Method. *Journal of Agricultural Engineering and Research*, 53, 249-272.
- Burton C.H., Sneath R.W., Misselbrook T.H. & Pain B.F., (1998). The Effect of Farm Scale Aerobic Treatment of Piggery Slurry on Odour Concentration, Intensity and Offensiveness. *Journal of Agricultural Engineering and Research*, 71, 203-211.

- Cabrera, M. L., Kelley, T. R., Pancorbo, O. C., Merka, W. C., & Thompson, S. A. (1994). Ammonia Volatilization and Carbon Dioxide Emission from Poultry Litter - Effects of Fractionation and Storage Time. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25, 2341-2353.
- Cahn, T. T., Aarnink, A. J. A., Verstegen, M. W. A., Mroz, Z., & Jongbloed, A. W. (1997). Influence of dietary calcium salts and electrolyte balance on the urinary calcium pH, slurry pH and ammonia volatilisation from slurry of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* (Abstract), 75 (Suppl.1), 191.
- Cahn, T. T., Aarnink, A. J. A., Verstegen, M. W. A., & Schrama, J. W. (1997). Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and faeces of fattening pigs. *Journal of Animal Science*, 75, 700-706.
- Cahn, T. T., Aarnink, A. J. A., Mroz, Z., Jongbloed, A. W., Schrama, J. W., & Verstegen, M. W. A. (1998). Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilisation from slurry. *Livestock Production Science*, 56, 1-13.
- Cahn, T. T., Aarnink, A. J. A., Schutte, J. B., Sutton, A., Langhout, D. J., & Verstegen, M. W. A. (1998). Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Livestock Production Science*, 56, 181-191.
- Cahn, T. T., Aarnink, A. J. A., Verstegen, M. W. A., & Schrama, J. W. (1998). Influence of Dietary Factors on the pH and ammonia Emission of Slurry from Growing-Finishing Pigs. *Journal of Animal Science*, 76, 1123-1130.
- Cahn, T. T., Sutton, A. L., Aarnink, A. J. A., Verstegen, M. W. A., Schrama, J. W., & Bakker, G. C. M. (1998). Dietary Carbohydrates Alter the Fecal composition and pH and the Ammonia Emission from Slurry of Growing Pigs. *Journal of Animal Science*, 76, 1887-1895.
- Carlile, F. S. (1984). Ammonia in poultry houses: A literature review. *World's Poultry Science J.*, 40, 99-113.
- Carr, L. E., & Nicholson, J. L. (1980). Control of ammonia release in broiler litter. (Report No. ASAE Paper No. 80-4511). St. Joseph, MI: ASAE.
- Carr, L. E., Wheaton, F. W., & Douglass, L. W. (1990). Empirical models to determine ammonia concentrations from broiler chicken litter. *Transactions of the ASAE*, 33(4), 1337-1342.
- CEN, (2000). Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry. Comité Européen de Normalisation CEN/TYC264/WG2 'ODOURS', CEN standard prEN13725.
- Chapple, R. P., Cuaron, J. A., & Easter, R. A. (1989). Effect of glucocorticoids and limiting nursing on the carbohydrate digestive capacity and growth rate of piglets. *Journal of Animal Science*, 67, 2956-2973.
- Christiaens J.P.A. (1995). Mestsystemen voor de varkens in het licht van de milieureglementering. In : Studiedag Stallenbouw en voorschriften : wat nu ??? , Technologisch Instituut KVIV, Antwerpen, 26 oktober 1995.
- Clarkson C.R. & Misselbrook T.H., (1991). Odour Emissions from Broiler Chicken. In: *Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming*. Eds. Nielsen V.C., Voorburg J.H. & L'Hermite P., London : Elsevier Applied Science, 1991, p 194-202.
- CLTRAP. (1996). Report on abatement techniques to reduce ammonia emissions from agricultural

-
- livestock. The Hague, The Netherlands: Ministry of Housing, Spatial planning and Environment.
- Colanbeen, M., & Neukermans, G. (1989). Désodorisation de l' air des poulaillers par filtration biologique. Proceedings of the 11 th international congress on agricultural engineering (pp. 1005-1013). Rotterdam/Brookfield: A.A.Balkema.
- Colanbeen M. & Neukermans G., (1992). Stankbestrijding van ventilatielucht door het gebruik van biofilters en biowasfilters. Landbouwtijdschrift, 45(5), 909-927.
- Colanbeen M. & Neukermans G. (1993). Stand van zaken in Vlaanderen inzake de uitrusting voor de beperking van ammoniakemissie in stallen. In : Studiedag beperking van ammoniakemissie in stallen : State of the Art, Technologisch Instituut KVIV, Merelbeke, 8 september 1993.
- Cole, D. J. A., Schuerink, G., & de Koning, W. J. (1996). Ammonia in pig buildings in the Netherlands. Pig News Information 17, 53-56.
- Coppoolse, J., van Vuuren, A. M., Huisman, J., Janssen, W. M. M. A., Jongbloed, A. W., Lenis, N. P., & Simons, P. C. M. (1990). De uitscheiding van stikstof, fofoor en kalium door landbouwhuisdieren, Nu en Morgen. Wageningen: D. L. O., 129p.
- Cumby T.R., Moses B.S.O., & Nigro E. (1995). Gases from livestock slurries: emission kinetics. Seventh International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes (ISAFPW95) (pp. 230-240). ASAE.
- CVB. (1991). Eiwitwaardering voor herkauwers: het DVE-systeem. (Protein evaluation for ruminants: the DVE-system). CVB-reeks nr. 7. Lelystad, the Netherlands: Centraal Veevoederbureau.
- Dams, R. (1991). Ammoniakemissies door de landbouw. Nieuwsbrief Universiteit Gent, september 1991, 13p.
- De Bode M.J.C., (1991). Odour and ammonia emissions from manure storage. In: Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming. Eds. Nielsen V.C., Voorburg J.H. & L'Hermite P., London : Elsevier Applied Science, 1991, p 59-66.
- De Brabander, D. L., & Boucqué, Ch. V. (1992). Mogelijkheden voor een milieuvriendelijker melkveevoeding. Landbouwtijdschrift, 2(247-257).
- Debruyckere M., Neukermans G., Schamp N. & Verstraete W., 1978. Onderzoek over de stankbestrijding in een volroosterkweekvarkensstal. Onderzoek uitgevoerd door Het Onderzoekcentrum voor Boerderijbouwkunde (RUG) en Het Centrum voor de Studie van het Stalklimaat (IWONL), tweede voorlopig deelverslag, 1 juni 1978.
- Debruyckere M., Neukermans G., Colanbeen M., Van De Velde L., Van Durme V. & Van Der Straeten P., (1993). Oplossingen mestproblematiek door nieuwere staltechnieken - eindverslag. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij - Mestbank.. Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent. Juli 1993, 132p.
- de Haan M.H.A. & Ogink N.W.M., (1994). Naar veehouderij en milieu in balans - 10 jaar FOMA onderzoek, Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 19 (rundvee), 4 oktober 1994. Uitgave : Ministerie van Landbouw en Visserij (Nederland).
- Demmers, T. G. M. (1992). Ammoniakverwijdering uit lucht door middel van biowassers. Proces Technologie, september 1992.

- Demmers, T. G. M. (1990). Het effect van een pH-bufferende toeslagstof op de nitrificatie in een biowasser.
- Demmers, T. G. M., Hissink M. G., & Uenk, G. H. (1992). Het drogen van pluimveemest in een droogtunnel en het effect hiervan op de ammoniakemissie. IMAG-DLO Rapport, 92-6
- den Brok G.M., & Voermans M.P. (1995). Oppervlakte en urine-afvoer van de dichte vloer in relatie tot lokbevuiling bij vleesvarkens. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, (Proefverslag P1.133), 16 p.
- den Brok G.M., Vrielink, M. G. M., Beurskens-Voermans, M. P., & van Brakel, C. E. P. (1997). Ammoniakemissie en kosten van een aantal huisvestingssystemen. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, (Proefverslag P1.169), 48 p.
- den Brok, G., van der Peet-Schwering, C., & Vrielink, M. (1997). Urine-pH, ammoniakemissie en technische resultaten van vleesvarkens na toevoeging aan het voer van organische zuren, met name benzoëzuur. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, 11(6), 16-18.
- den Hartog L.A. & Voermans J.A.M. , (1994). Naar veehouderij en milieu in balans - 10 jaar FOMA onderzoek, Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 19 (varkens), 4 oktober 1994. Uitgave : Ministerie van Landbouw en Visserij (Nederland).
- Derden, A., Vaesen, A., Konings, F., ten Have, P., & Dijkmans, R. (1998). Beste Beschikbare Technieken voor het be- en verwerken van dierlijke mest. Vlaams BBT-Kenniscentrum. VITO: Academia Press, Gent.
- De Schrijver, R., Fremaut, D., & Van Den Broeck, M. (1991). Effects of short-term feeding of clenbuterol on nitrogen retention, performance and meat quality in finishing pigs. Journal of Agricultural Science, 116, 105-109.
- De Schrijver, R., & Vande Ginste, J. (1998). Behoeftenormen voor aminozuren bij vleesvarkens. Katholieke universiteit Leuven, Departement Dierproductie, Laboratorium voor Voedingsleer: Ministerie van Middenstand en Landbouw.
- De Vriendt, R. A. v. (1999). Telefonische mededeling.
- De Vries C., (1990). Mest & Milieu. Het boek van de Teleaccursus. De meeste technieken zijn nog in onderzoek. Bron : Oogst, CLO - Land- en tuinbouwblad, 3, 7 september 1990, 8-23.
- De Vries C., (1990). Mest & Milieu. Het boek van de Teleaccursus. Emissie uit ligboxenstallen niet eenvoudig te bedwingen. Bron : Oogst, CLO - Land- en tuinbouwblad, 3, 2 februari 1990, 38-40.
- Dobbelaere A., (1990). Milieubewust aanwenden van mengmest. In : Studiedag 'Varkenshouderij en entrum voor Land- en Tuinbouw, Roeselaere, 17 jan. 1990.
- Dochy, B. (1993-1994). Beperking van ammoniakemissie uit vleesvarkensdrijfmest m.b.v. mestadditieven. Eindwerk Tot Het Bekomen Van De Titel En De Graad Van Industrieel Ingenieur Afdeling Landbouw Aan De Industriële Hogeschool Van Het Gemeenschapsonderwijs C.T.L. Te Gent.
- Dogniaux, A., Lemone, N., & Sneyers, E. R. S. (1980). Annees types moyennes pour le traitement des problemes des charges thermiques de batiments. I.R.M. M.I.C., Serie B(45).

- Dong, L., Heber, A. J., Patterson, J. A., Strobel, B. R., Jones, D. D., & Sutton, A. L. (1997). Bioscrubber for Removing Ammonia from Swine House Exhaust Air. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emission from animal production facilities, 529-532.
- Easter, R. A., Stein, H. H., & Trottier, N. L. (1993). Use of biotechnology and feed additives. Proceedings of the First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences (pp. 169-182). Wageningen: Pudoc Scientific Publishers .
- Ellicott, H. A., & Collins, N. E. (1982). Factors affecting ammonia release in broiler litter. Transactions of the ASAE, 25(2), 413-418.
- Ellis, M., Davies, M., Briggs, P. A., & Armstrong, D. G. (1983). A note on the influence of Avoparcin on apparent digestibility and nitrogen retention in growing pigs. Animal Production, 36, 151-153.
- Elzing, A., Kroodsma, W., Scholtens, R., & Uenk, G. H. (1992). Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een rundveestal: theoretische beschouwingen. IMAG-DLO Rapport, 92-3.
- Elzing, A., & Kroodsma, W. (1993). De relatie tussen ammoniakemissie en stikstofconcentratie in de urine van melkvee. IMAG-DLO rapport 93-3. Wageningen: IMAG-DLO.
- Everts, H., & Dekker, R. A. (1993). The effect of nitrogen supply during pregnancy on the nitrogen excretion by breeding sows . Proceedings of the First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences (pp. 183-188). Wageningen: Pudoc Scientific Publishers .
- Faust S.D. & Hunter J.V., (1976). Organic Compounds in Aquatic Environments. Marcel Dekker, New York, USA.
- Ferguson, N. S., Gates, R. S., Taraba, J. L., Cantor, A. H., Pescatore, A. J., Straw, M. L., Ford, M. J., & Burnhams, D. J. (1998). The Effect of Dietary Protein and Phosphorus on Ammonia Concentration and Litter Composition in Broilers. Poultry Science, 77(8), 1085-1093.
- Foster, J. R. (1983). Sarsaponin for growing finishing swine alone and in combination with an antibiotic at different pig densities. Journal of Animal Science, 57((suppl.1)), 245.
- Fremaut, D., & De Schrijver, R. (1989). Beïnvloeding van de mengmestsamenstelling door aangepaste voeding. Studie- en vervolmakingsdag: meng - mest - problematiek.
- Fremaut, D., & De Schrijver, R. (1990). Beïnvloeding van de stikstofexcretie en de zoötechnische prestaties van vleesvarkens door verlaging van het eiwitniveau. Landbouwtijdschrift, 43(6), 1007-1014.
- Fremaut, D., Tylleman, A., & Van Daele, A. (1998). Meerfasevoeding voor varkens: mogelijkheden voor meerfasenvoeding in de Belgische praktijk. Ministerie van Middenstand en Landbouw, Dienst ontwikkeling dierlijke productie Brussel.
- Giesy, R. G., Giesy, J. G., Harris, B., Bray, D. R., Bucklin, R. A., & van Horn, H. H. (1994) Survey of ammonia levels in large Florida dairy barns (pp. 362-366). St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers.
- Goodall, S. R., & Matsushima, J. K. (1979). Sarsaponin and monesin effects upon in vitro VFA concentration gas production and feedlot performance. Journal of Animal Science, 49(Suppl.), 370.

- Graham, H., Fadel, J. G., Newman, C. W., & Newman, R. K. (1989). Effect of pelleting and bèta-glucanase supplementation on the ileal and fecal digestibility of a barley-based diet in the pig. *Journal of Animal Science*, 67(1293-1298).
- Graham, H., Hesselmann, K., Jonsson, E., & Aman, P. (1986). Influence of Bèta-glucanase supplementation on digestion of a barley-based diet in the pigs gastrointestinal tract. *Nutrition Reports International*, 34, 1089-1097.
- Groenestein, C. M. (1993). Animal-waste management and emission of ammonia from livestock housing systems: field studies. *Livestock Environment. Fourth International Symposium*, University of Warwick (pp. 1169-1175). Michigan, USA: American Society of Ageicultural Engineers.
- Groenestein, C. M. (1994). Ammonia emission from pig houses after frequent removal of slurry with scrapers. *XII World congress on Agricultural Engineering* (pp. pp543-550). EurAgEng, ASAE, CIGR.
- Groenestein C.M. & Van Faassen H.G., (1996). Volatilization of Ammonia, Nitrous Oxide and Nitric Oxide in Deep-litter Systems for Fattening Pigs. *Journal of Agricultural Engineering and Research* (1996), 65, 269-274.
- Groot Koerkamp, P. W. G. e. al. (1990). Naar stallen met beperkte ammoniakuitstoot. Deelrapport Bronnen, Processen en Factoren. DLO-Reeks Onderzoek Inzake De Mest- En Ammoniakproblematiek in De Veehouderij, 8, pp ?-?
- Groot Koerkamp, P. W. G. (1994). Review on Emissions of Ammonia from Housing Systems for Laying Hens in Relation to Sources, Processes, Building Design and Manure Handling. *J. Agric. Engng Res.* 59, pp73-87.
- Groot Koerkamp, P. W. G., Keen, A., Van Niekerk, Th. G. C. M., & Smit, S. (1995). The effect of manure and litter handling and indoor climatic conditions on ammonia emissions from a battery cage and an aviary housing system for laying hens. *Netherlands Journal of Agricultural Science* , 43, 351-373.
- Groot Koerkamp, P. W. G., & Uenk, G. H. (1997). Climatic Conditions and Aerial Pollutants in and Emissions from Commercial Animal Production Systems in The Netherlands. *J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emission from animal production facilities*, 139-144.
- Groot Koerkamp, P. W. G., Metz, J. H. M., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P., Hartung, J., Seedorf, J., Schroder, M., Linkert, K. H., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J. O., & Wathes, C. M. (1998). Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70, 79-95.
- Groot Koerkamp, P. W. G., Speelman, L., & Metz, J. H. M. (1998). Litter composition and ammonia emission in aviary houses for laying hens. Part I: Performance of a litter drying system. *J. Agric. Engng Res.* 70, 375-382.
- Hansen, R. C., Marugg, C., Keener, H. M., Dick, W. A., & Hoitink, H. A. J. (1991). Department of Agricultural Engineering, Ohio Agricultural Research and Development Centre, The Ohio State University.
- Harssema H., (1980). Praktijkonderzoek naar de verspreiding van ventilatielucht rond stallen met behulp van een tracer. Publikatie R14 Vakgroep Luchthygiëne en Verontreiniging,

- Landbouwhogeschool Wageningen (1980).
- Hartung, J. (1992). Emission und Kontrolle von Gasen und Geruchsstoffen aus Ställen und Dunglagern. *Zentralblatt Für Hygiene Und Umweltmedezin*, 192 (5), pp389-418.
- Hartung, E., Büscher, W., & Jungbluth, T. (1994). Basic research on ammonia release in livestock production using liquid manure pits. *AgEng '94. International Conference on Agricultural Engineering* (pp. 197-198).
- Hauser, R. H., & Fölsch, D. W. (1993). The quality of poultry-house in alternative systems for farming laying hens. *Livestock Environment. Fourth International Symposium, University of Warwick* (pp. 671-677). Michigan, USA: American Society of Ageicultural Engineers.
- Headon, D. R., & Walsh, G. (1993). Yucca Schidigera extracts and ammonia control. *Livestock Environment. Fourth International Symposium, University of Warwick* (pp. 686-693). Michigan, USA: American Society of Ageicultural Engineers.
- Heinrichs, P., & Oldenburg, J. (1993). Effect of protein feeding on gaseous ammonia emissions and slurry loading with nitrogen in fattening pigs. *Proceedings of the First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences* (pp. 336-339). Wageningen: Pudoc Scientific Publishers .
- Hendriks, J. (1990). De mineralenbalans op het melkveebedrijf. *Melkvee en milieu nr.3. Provinciale Dienst voor Land- en Tuinbouw - Antwerpen*.
- Hendriks, H. J. M. (1997). Dutch Policy for Low Emission Housing Systems. J. A. M. Voermans, & G. Monteny (Eds.) *Ammonia and odour emission from animal production facilities*, pp. 685-689.
- Hendriks, J. G. L., & Vrieling, M. (1996). Aanzuren van vleesvarkensmest met organische zuren. *Praktijkonderzoek Varkenshouderij*, juni 1996, nummer 3, 20.
- Hendriks, J. G. L., & Vrieling, M. (1996). Microbieel aanzuren van vleesvarkensmest . *Praktijkonderzoek Varkenshouderij*, juni 1996, nummer 3, 10-11.
- Hendriks, J. G. L., & Vrieling, M. G. M. (1997). Reducing Ammonia Emission from Pig Houses by Adding or Producing Organic Acids in Pig Slurry. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, *Ammonia and odour emission from animal production facilities*, 493-501.
- Hesse, D. (1994). Comparison of different old and new fattening pig husbandry with focus on environment and animal welfare. *XII World congress on Agricultural Engineering* (pp. 559-566). EurAgEng, ASAE, CIGR.
- Hobbs P.J., Pain F.P., Kay R.M. & Lee P.A., (1996). Reduction of Odorous Compounds in Fresh Pig Slurry by Dietary Control of Crude Protein. *Journal of Science Food and Agriculture* (1996), 71, 508-514.
- Hobbs P.J., Misselbrook T.H. & Pain B.F., (1997). Characterisation of Odorous compounds and Emissions from Slurries Produced from Weaner Pigs Fed Dry Feed and Liquid Diets. *Journal of Agricultural Engineering and Research*, 73, 437-445.
- Hobbs P.J., Misselbrook T.H. & Pain B.F., (1998). Emission rates of odorous compounds from pig slurries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(3), 341-348.
- Hobson P.N., Bousfield S. & Summer R., (1974). Anaerobic digestion of organic matter. *Critical*

- Reviews in Environmental Control (1974), 4, 131-191.
- Hoeksma, P., Verdoes, N., Oosthoek, J., & Voermans, J. A. M. (1992). Reduction of ammonia volatilization from pig houses using aerated slurry as recirculation liquid. *Livestock Production Science*, 31, 121-132.
- Hoeksma, P., Verdoes, N., & Monteny, G. L. (1993). Two options for manure treatment to reduce ammonia emission from pig housing. *Proceedings of the First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences* (pp. 301-306). Wageningen: Pudoc Scientific Publishers .
- Hoeksma P., Scholtens R. & Van Den Berg A.J., (1993). Reductie van ammoniak uit varkensstallen door mestspoelen met beluchte spoelvloeistof. IMAG-DLO rapport 92-93, PV proefverslag nr P1-95 : 56p.
- Hoekstra H. & Huijsmans J.F.M., (1990). Tijdsbesteding en kosten emissie-arme mesttoediening. *Landbouwmecanisatie*, 9, sept. 1990.
- Hof, G., & Tamminga, S. (1994). Feeding management to reduce nitrogen losses in dairy cows. Biological basis of sustainable animal production. *Proceedings of the Fourth Zodiac Symposium*. EAAP Publication No. 67 Wageningen: Wageningen Pers.
- Hoff S.J., Bundy D.S. & Li X.W., (1997). Dust effects on odor and odor compounds. In : *Ammonia and odour control from animal production facilities*, Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, p. 101-110.
- Horne, P. L. M. v. (1994). Ammonia emission on Dutch layer farms: abatement possibilities and costs. *Proceedings 9th European Poultry Conference*, Glasgow, UK, 7-12 August 1994, Volume 1, 155-156.
- Hugle, T., & Mannebeck, K. (1993). Biofilter, Stoffliche Umsetzungen und Probleme. *Landtechnik*, 11, 569-571.
- Husted, S., Jensen, L. S., & Jorgensen, S. S. (1991). Reducing ammonia loss from cattle slurry by the use of acidifying additives - the role of the buffer system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 57(3), 335-350.
- Huther, L., Schuchardt, F., & Willke, T. (1997). Emissions of Ammonia and Greenhouse Gases during Storage and Composting of Animal Manures. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, *Ammonia and odour emission from animal production facilities*, 327-334.
- Huysman C.N., Greutink G.J., Schellekens J.J.M., Pompe J.C.A.M., MPS & Vos H.W. , (1993). Onderzoek aan een diepstrooiselsysteem op praktijkbedrijven. Proefstation voor de Varkenshouderij, Proefverslag P 1.91.x
- Huysman C.N., Vrielink M.G.M. & Roelofs P.F.M.M., (1997). The Ecobarn Litter System for Growing/Finishing Pigs. In : *Ammonia and odour control from animal production facilities*, Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, p. 621-625.
- Investeringslijst, (1998). Investeringsrefeling Markt en Concurrentiekracht. Uitgave van Het Ministerie van Landbouw, natuurbeheer en visserij, Den Haag, Nederland.
- Imoto, S., & Namioka, S. (1978). VFA production in the pig large intestine. *Journal of American Science*, 47, 467-478.

- Janssen, A. J. (1985). De ammoniakproblematiek in Nederland. Staatsbosbeheer.
- Jiang, J. K., & Sands, J. R. (1997). Odour and Ammonia at Australian Broiler Chicken Growout Farms. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emission from animal production facilities, 239-244.
- Johnston, N. L., Quarles, C. L., Fagerberg, D. J., & Caveny, D. D. (1981). Evaluation of Yucca Saponin on Broiler Performance and Ammonia Suppression. Poultry Science, 60, 2289-2292.
- Jongbloed, A., & Coppoolse, J. (1990). Mestproblematiek: aanpak via de voeding van varkens en pluimvee. Themadag Veevoeding en Milieu, 19 april 1990. Lelystad, Nederland.
- Jongbloed, A. W., & Lenis, N. P. (1992). Alteration of nutrition as a means to reduce environmental pollution by pigs. Livestock Production Science, 31, 75-94.
- Kant, P. P. H., & Middelkoop, N. (1994). A quarter less in the stall. A finishing coat on a sloping floor reduces ammonia emission. Landbouwmecanisatie, 45(5), 38-39.
- Kant P.P.H., (1996). Reductie ammoniakemissie door stalen roostervloeren. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Publicatie 110, februari 1996, 20p.
- Kappers, I. E., & Rijpkema, Y. S. (1994). Stikstofbenutting door melkkoeien: Effect van verschillende door ruwvoer veroorzaakte DVE/kVEM-verhoudingen in het rantsoen. 2. Resultaten van een voederproef met graskuilen. Rapport IVVO-DLO 253. Lelystad: IVVO-DLO.
- Kay, R.M., (1992). The performance and environment of pigs reared on deep sawdust beds compared with pigs on a conventional fully slatted slurry system. In : Proceedings Workshop deep litter systems for pig farming. Uitgave : Research Institute for Pig Husbandry, Rosmalen (21 en 22 september), p. 93-102.
- Kay, R. M., & Lee, P. A. (1997). Ammonia emission from pig buildings and characteristics of slurry produced by pigs offered low crude protein diets. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emission from animal production facilities, 253-260.
- Keener, H. M., & Eiwell, D. L. (1996). Ammonia suppression using hyclay alumina and alum in composting short paper fiber with poultry manure. ASAE summer meeting .
- Kellems, R. O., Miner, J. R., & Church, D. C. (1979). effect of ration, waste composition and length of storage on the volatilization of ammonia, hydrogen sulphide and odours from cattle waste. Journal of Animal Science, 48, 436-445.
- Kemme, P. A., Jongbloed, A. W., Dellaert, B. M., & Krol-Kramer F. (1993). The use of a Yucca schidigera extract as 'urease inhibitor' in pig slurry. Proceedings of the First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences (pp. 330-335). Wageningen: Pudoc Scientific Publishers .
- Klarenbeek J.V. (1982). Odour measurements in Dutch agriculture: current results and techniques. IMAG Report Nr. 82-2, May 1982
- Klarenbeek J.V., Jongebreur A. & Benner S.C.C., (1982). Geuremissies bij mestvarkenstallen. IMAG Rapport Nr. 48, Oktober 1982.
- Klarenbeek J.V. & van Harreveld A.Ph., (1995). On the regulations and abatement of odours emanating from livestock housing in the Netherlands. New Knowledge in Livestock Odor,

-
- Proceedings of the International Livestock Odor Conference 1995.
- Kowalewsky, H. H. (1981). Measuring and evaluating odour emissions. KTBL Schrift 216. Munster, Germany: Landwirtschaftsverlag GmbH.
- Kramer, W., & Braam, R. (1999). Ammoniakemissiearme stalvloeren in Nederland: vloertypen voor de rundveehouderij. Agri-Beton, 1, 7-11.
- Kroodsma W., (1976). Het drogen van kippenmest met behulp van stallucht in verschillende staltypen. IMAG publicatie 73.
- Kroodsma, W. (1989). Mogelijkheden voor mestbehandeling en vermindering van de ammoniakemissie op pluimveebedrijven. Perspectieven Voor De Aanpak Van De Mest- En Ammoniakproblematiek Op Bedrijfsniveau, DLO-reeks Onderzoek inzake de Mest- en Ammoniakproblematiek in de Veehouderij (3), Wageningen, pp 13-38.
- Kroodsma, W., Huis in 't Veld, J., & Scholtens, R. (1990). Ammonia emissions from dairy, pig and poultry housing systems. IMAG, Wageningen.
- Kroodsma, W., Huis in 't Veld, J. W. H., & Groot Koerkamp, P. W. G. (1993). Mogelijkheden om de ammoniakemissie op pluimveebedrijven te verminderen. Beperking van de ammoniakemissie in stallen: State of the art (pp. 1-10). Antwerpen: KVIV.
- Kroodsma, W., Huis in 't Veld, J. W. H., & Scholtens, R. (1993). Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing. Livestock Production Science, 35, pp 293-302.
- Kroodsma, W., Willems, H. C., Huis, J. W. H., & Ogink, N. W. M. (1994). Reduction of ammonia emission from cubicle houses for cattle by slurry acidification. XII World congress on Agricultural Engineering (pp. pp232-232). EurAgEng, ASAE, CIGR.
- Kroodsma W., Ogink NW.M., & Bruins M.A. (1995). An emission-controlled storage system for predried layer manure. ISAFPW95 (pp. 590-598). ASAE.
- Kroodsma, W., & Ogink, N. W. M. (1997). Volatile Emissions from Cow Cubicle Houses and its Reduction by Immersion of the Slat with Acidified Slurry. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emission from animal production facilities, 475-483.
- KWIN-V, (1998). Kwantitatieve Informatie Veehouderij 1998-1999. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR). Lelystad, september 1998.
- Lais, S., Buscher, W., & Jungbluth, T. (1995). Leistungen und kosten biologischer abluftwascher. Landtechnik, 6 , 372-373.
- Lais S., Hartman E. & Jungblutk T., (1997). Reduction of ammonia and odour emissions by bioscrubbers. In : Ammonia and odour control from animal production facilities, Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, p. 533-536.
- Latimier, P., & Dourmad, J. Y. (1993). Effect of three protein feeding strategies, for growing-finishing pigs, on growth performance and nitrogen output in the slurry and in the air. Proceedings of the First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences (pp. 242-246). Wageningen: Pudoc Scientific Publishers .
- Lee, P. A., & Kay, R. M. (1997). Economic Implications of Reduced Crude Protein Diets for Pigs to Reduce Ammonia Emissions. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emission from animal production facilities, 699-706.

- Lee, P. A., & Kay, R. M. (1998). Lower protein diets. Environmental benefits but at what costs? *Pig Progress*, 14(1), 26-29.
- Leneman, H., Giesen, G. W., & Berentsen, P. B. M. (1993). Costs of reducing nitrogen and phosphorous emissions on pig farms in the Netherlands. *Journal of Environmental Management*, 39, 107-119.
- Lenis, N. P. (1989). Lower nitrogen excretion in pig husbandry by feeding: current and future possibilities. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 37, 61-70.
- Leterme, P., & Thewis, A. (1998). Varkensvoeding: verteerbaarheid van aminozuren. *Agricontact*, 304, 1-6.
- Lippens, M., Deschepper, K., & De Groote, G. (1997). Laageiwitrantsoenen en aminozuurbehoeften bij vleeskippen. Rijkstation voor Kleinveeteelt, Merelbeke//Centrum Landbouwkundig Onderzoek, Gent: Ministerie van Middenstand en Landbouw, Dienst voor Landbouwkundig Onderzoek (DG6).
- Low, A. G. (1985). Role of dietary fibre in pig diets. W. Haresign, & D. J. A. E. Cole Recent Advances in Animal Nutrition (pp. 87-112). London: Butterworths.
- Macke, H., & Van Den Weghe, H. (1997). Reduction of Ammonia and Nitrous Oxide Emissions in Broiler Houses by Litter Ventilation. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emission from animal production facilities, 305-310.
- Mackie R.I., (1994). Microbial production of odor components, p. 18-19. In Proceedings of International Round Table on Swine Odor Control, Ames, 1A, 13-15 june 1994, Iowa State University, Ames.
- Mackie R.I., Stroort P.G. & Varel V.H., (1998). Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. *Journal of animal science*, 76(5), 1331-1342.
- Maghirang, R., & Manbeck, H. B. (1993). Dust, ammonia and carbon dioxide emissions from a poultry house. Paper, American Society of Agricultural Engineers, No. 93-4056, 11p.
- Mannebeck, H., & Oldenburg, J. (1991). Comparison of the effects of different systems on ammonia emissions. Cost 681 Expert Odours Group Workshop: Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming (pp. 42-49). London/New York: Elsevier Applied Science.
- Manninen, A., Kangas, J., & Linnainmaa, M. (1989). Ammonia in Finnish poultry houses: effects of litter on ammonia levels and their reduction by technical binding agents. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 50(April), 210-15.
- Maton, A., Daelemans, J., & Lambrecht, J. (1983). De huisvesting van dieren. Bouw en inrichting van veestallen. Merelbeke, België: Rijkstation voor Landbouwtechniek.
- Meijer, R. (1998). Voer(en) voor topproductie. *Praktijkonderzoek*, (2), 9-13.
- Meijer, R., Boxem, Tj., Smolders, G., van der Kamp, A., & Wentink, G. H. (1994). Voederbieten voor melkvee. Publikatie nr. 88. Lelystad: Proefstation voor de Rundvee-, Schapen- en Paardenhouderij.
- Meijerhof, R. (1992). Mestbeluchting bij slachtkuikenouderdieren. PP-Uitgave 'Praktijkonderzoek Voor De Pluimveehouderij', 92/1

- Miner J.R., Kelly M.D. & Anderson A.W., (1975). Identification and measurement of volatile compounds within a swine building and measurement of ammonia evolution rates from manure-covered surfaces. In "Managing Livestock Wastes", Proceedings of 3rd International Symposium on Livestock Wastes, ASAE Proc-275, 1975, 351-353.
- Miner J.R., & Pan H. (1995). A floating permeable blanket to prevent the escape of odors. ISAFPW95 (pp. 608-615). ASAE.
- Miner R., Godwin D., Brooks P., Rulkens W., & Kielich C. (1995). A protocol to evaluate the effectiveness of odor control additives. ISAFPW95 (pp. 271-283). ASAE.
- Miner, J. R., & Suh, K. W. (1997). Floating Permeable Covers to Control Odor from Lagoons and Manure Storages. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emission from animal production facilities, 435-440.
- Misselbrook, T. H., Chadwick, D. R., Hobbs, P. J., & Pain, B. F. (1997). Control by Dietary Manipulation of Emissions from Pig Slurry Following Landspreading. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emission from animal production facilities, 261-266.
- Mobley, H. L. T., & Hausinger, R. P. (1989). Microbial ureases: significance, regulation and molecular characterization. Microbiological Reviews, 53, 85-108.
- Moller, D., & Schieferdecker, H. (1989). Ammonia emission and deposition of NH₃ in the GDR. Atmospheric Environment, 23, 1187-1193.
- Monteny, G. J., & Lamaker, E. J. J. (1997). Factors influencing Air Velocity in and Ammonia Volatilization from a Slurry Pit in Cubicle Houses for Dairy Cows. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emissions from animal production facilities, 57-67.
- Monteny, G. J., & Overbeek, J. P. E. (1997). Air exchange in and ammonia emission from slurry storage in cubicle dairy-cow houses. 1997 ASAE Annual International Meeting .
- Moore, P. A., Miller, D. M., Daniel, T. C., Edwards, D. R., & Shreve, B. R. (1994). Reducing phosphorus solubility and inhibiting ammonia volatilization in poultry litter with chemical amendements. XII World congress on Agricultural Engineering (pp. pp205-206). EurAgEng, ASAE, CIGR.
- Mothes, 1973. Geciteerd in "Naar stallen met een beperkte ammoniakuitstoot", Deel 1: bronnen, processen, factoren. Sturrgroep emissie-arme huisvestingssystemen (sept. 1990).
- Muck, R. E., & Steenhuis, T. S. (1982). Nitrogen losses from manure storages. Agricultural Wastes, 4, 41-54.
- Muck, R. E., & Richards, B. K. (1983). Losses of manurial nitrogen in free-stall barns. Agricultural Wastes, 7, 65-79.
- Neukermans G. & Colanbeen M., (1990). Stankbestrijdingstechnieken in de varkenshouderij. In : Studiedag 'Varkenshouderij en leefmilieu', Praktijkcentrum voor Land- en Tuinbouw, Roeselaere, 17 jan. 1990.
- Neukermans G., Velghe K., Debruyckere M. & Verstraete W., (1979). Biologische stankbestrijding in een volroosterkraamstal. Landbouwtijdschrift nr 4, jg 32, juli-augustus 1979.
- Ni, J. Q. (1998). Emission of Carbon Dioxide and Ammonia from Mechanically Ventilated Pig House.

Doctoraatsproefschrift Nr. 338 aan de faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische wetenschappen van de K.U.leuven.

- Nicks B., Désiron A. & Canart B., (1997). Deep Litter Materials and the Ammonia Emissions in Fattening Pig Houses. In : Ammonia and odour control from animal production facilities, Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, 335-342.
- Nicolai E.R., (1996). Managing Odors from Swine Waste. Department of Biosystems and Agricultural Engineering, University of Minnesota Extension Service. [Http://www.bae.umn.edu/](http://www.bae.umn.edu/) .
- NNI, (1995). NVN 2820 Air Quality 1995 Sensory odour measurement using an olfactometer. Netherlands Normalisation Institute, Delft, the Netherlands.
- Nishina, H., Aono, T., Maruyama, K., & Hashimoto, Y. (1997). Ammonia Control by Ventilation in Semi-closed Type Poultry House. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emission from animal production facilities, 627-630.
- Odor Control Task Force, (1998). Control of Odor Emissions from Animal Operations, A Report from the Board of Governors of the University of North Carolina, 35p., 1 sept. 1998. North Carolina Agriculture Research Service, College of Agriculture and Life Sciences, North Carolina State University.
- Ogink, N. W. M., & Kroodsma, W. (1996). Reduction of ammonia emission from a cubicle house by flushing with water or a formalin solution. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63(3), 107-204.
- Ogink N.W.M. & Klarenbeek J.V., (1997). Evaluation of a Standard Sampling Method for Determination of Odour Emission from Animal Housing Systems and Calibration of the Dutch Pig Odour Unit into Standardised Odour Units. In : Ammonia and odour control from animal production facilities, Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, 231-238.
- Oldenburg, J. (1989). Odour and ammonia emission from livestock farming. KTBL Schrift 333. Darmstadt, Germany. 158 pp.
- O'Neill D.H. & Phillips V.R., (1991). A review of the Odour Nuisance from Livestock buildings: Part 1, Influence of the techniques for Managing Waste Within the Building. *Journal of Agricultural Engineering and Research*, 50, 1-10.
- O'Neill D.H. & Phillips V.R., (1992). A review of the Odour Nuisance from Livestock buildings: Part 3, Properties of the Odourous Substances which have been Identified in Livestock Wastes or in the Air around them. *Journal of Agricultural Engineering and Research*, 53, 23-50.
- Oosthoek, J., Kroodsma, W., & Hoeksma, P. (1991). Ammonia emission from dairy and pig housing systems. Cost 681 Expert Odours Group Workshop: Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming (pp. 31-41). London/New York: Elsevier Applied Science.
- Oosthoek, J., & Voorburg, J. H. (1992). Principles of ammonia emission limitation. Slurry Treatment on the Farm. Proceedings Symposium (p. 12). DLO.
- Pain B.F., Clarkson C.R., Phillips V.R., Klarenbeek J.V., Misselbrook T.H. & Bruins M., (1991). Odour Emission Arising from Application of Livestock Slurries on Land: Measurements Following Spreading using a Micrometeorological Technique and Olfactometry. *Journal of Agricultural Engineering and Research*, 48, 101-110.

- Pain B.F. & Misselbrook T.H., (1995). Quantification and Control of Odours Following Application of Manures to Land. In: New Knowledge in Livestock Odor, Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Ames, Iowa, U.S.A., October 16, 17 & 18, 1995, p. 40-43.
- Pain B.F. & Misselbrook T.H., (1991). Relationships between odour and ammonia emission during and following the application of slurries to land. In: Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming. Eds. Nielsen V.C., Voorburg J.H. & L'Hermite P., London : Elsevier Applied Science, 1991, p 2-9.
- Partridge G.G. & Gill B.P., (1993). New approaches with pig weaner diets. In : Recent Advances in Animal Nutrition, eds Gransworthy P.C. & D.J.A. Cole. Nottingham University Press, Nottingham, UK, 221-248.
- Patni N.K. & Jui P.Y., (1993). Effectiveness Of Manure Additives. ASAE Paper No. 934021 an ASAE/CSAE Meeting Presentation (1993).
- Peisker, M. (1996). Amino Acid Profiles For Poultry. Recent Advances in Animal Nutrition Nottingham: University Press.
- Pfeiffer V., (1993). A proteinreduzierte Futterungskonzepte zur Reduktion der ammoniakemission in der Schweinemast. Zuchtungskunde (1993), 65, 431-443.
- Phillips V.R., Pain B.F., Clarkson C.R. & Klarenbeek, (1990). Studies on reducing the Odour and Ammonia Emissions during and after the Land Spreading of Animal Slurries. Farm Buildings & Engineering, 7(2), 17-23.
- Phillips V.R., Pain B.F. & Klarenbeek J.V., (1991). Factors influencing the odour and ammonia emissions during and after the land spreading of animal slurries. In : Odour and ammonia emissions from livestock farming, Eds. Nielsen V.C., Voorburg J.H. & L'Hermite P., London : Elsevier Applied Science, 1991, p 98-106.
- Pollet, I. (1996). Onderzoeks- en ontwikkelingsovereenkomst inzake de ammoniakemissie door de landbouw. Deel 1: Theoretische onderbouw en verantwoording van de berekeningen. Deel 2: Toepassing van de berekeningen: ammoniakemissie door de landbouw. Deel 3: Bijlagen. Deel 4: Sensitiviteitsanalyse. Gent: R.U.Gent.
- Pollet, I., Van Langenhove, H., & Christiaens, J. (1996). Onderzoeks- en ontwikkelingsovereenkomst inzake de NH₃-emissies door de landbouw. Rapport in Opdracht Van De Vlaamse Milieumaatschappij VMM (174M3495), 193.
- Praktijkonderzoek voor de Pluimveehouderij. (1993). Ammoniakbeheersingsonderzoek bij vleeskalkoenen. Periodiek: Stichting Praktijkonderzoek Voor De Pluimveehouderij, Centrum Voor Onderzoek En Voorlichting Voor De Pluimveehouderij 'Het Spelderholt', nr 4(december), 24p.
- Preston, R. L., Bartle, S. J., & Goodall, S. R. (1984). Influence of sarsponin on growth, fed and nitrogen utilisation in growing male rats fed diets with and without urea. Journal of Animal Science, 61((Suppl.)), 301.
- Produktschap voor veevoeder. (1988). Mest- en verzuringsproblematiek. Mogelijkheden tot een oplossing via de veevoeding. Beleidsnota. 's-Gravenhage: Produktschap voor veevoeder.
- Produktschap voor Veevoeder. (1994). Oplossingsrichtingen mest- en ammoniakproblematiek 1985-1994. Evaluatie van onderzoek en stimulering door de veevoedersector. Den Haag: Produktschap voor Veevoeder.

- Reece, F. N., Bates, B. J., & Lott, B. D. (1979). Ammonia control in broiler houses. *Poultry Science*, 58, 754-755.
- Rijkema, Y. S. (1993). Stikstofbenutting door melkkoeien bij verschillende DVE/kVEM-verhoudingen in het rantsoen. Stikstofstromen in melkvee. Mededelingen IVVO-DLO (pp. 23-30). Lelystad: IVVO-DLO.
- Riskowski G.L., Chang A.C., Steinberg M.P. & Day D.L., (1991). Methods for Evaluating Odor from Swine Manure. *Applied Engineering in Agriculture*, 7(2), 248-253
- Rowett Research Institute <http://www.rri.sari.ac.uk/groups/rum.html>.
- Rowland, L. O., Plyer, J. E., & Bradley, J. W. (1976). Yucca Schidigera extract effect on egg production and house ammonia levels. *Poultry Science*, 55, 2086.
- Rowland, L. O., Plyer, J. E., & Bradley, J. W. (1979). Yucca Schidigera extract effect on egg production and house ammonia levels. *Poultry Science*, 58, 2086.
- Salvador, V., Cherbut, C., Barry, J., Bertrand, D., Bonnet, C., & Delort-Laval, J. (1993). Sugar composition of dietary fibre and short chain fatty acids production during in vitro fermentation by human bacteria. *British Journal of Nutrition*, 70, 189-197.
- Scholtens, R., & Demmers, T. G. M. (1991). Biofilters and air scrubbers in The Netherlands. Cost 681 Expert Odours Group Workshop: Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming (pp. 92-97). London/New York: Elsevier Applied Science.
- Schutte, J. B., Van Kempen, G. J. M., & Hamer, R. J. (1990). Possibilities to improve the utilization of feed ingredients rich in non-starch polysaccharides for poultry. Proc. VIII. European Poultry Conference (pp. 128-135).
- Schutte, J. B., de Jong, J., & van Kempen, G. J. M. (1993). Dietary protein in relation to requirement and pollution in pigs during the body weight range of 20 to 40 kg. Proceedings of the First International Symposium on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences (pp. 259-263). Wageningen: Pudoc Scientific Publishers .
- Siemers V. & van de Weghe H., (1997). Biofilter/Wetscrubber combinations for the reduction of ammonia, odor and dust emissions of pig fattening houses. In : Ammonia and odour control from animal production facilities, Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, 537-544.
- Sloff, J. L. A. (1994). Schuiven en klauwen: praktijkervaring met emissie-arme stalsystemen. *Landbouwmecanisatie*, 7, 22-23.
- Smits, M. C. J., Valk, H., Elzing, A., Huis in 't veld, J. W. H., & Keen. A. (1993). Perspectief van beperking van de ammoniakemissie uit melkveestallen door aanpassing van het rantsoen. IMAG-DLO rapport 93-31. Wageningen: IMAG-DLO.
- Smits, M. C. J., Valk, H., Elzing, A., & Keen, A. (1995). Effect of protein nutrition on ammonia emission from a cubicle house for dairy cattle. *Livestock Production Science*, 44, 147-156.
- Snoek, H., Hemmer, H., van Brakel, C., & Ellen, H. (1998). KWIN-V, Kwantitatieve Informatie Veehouderij 1998-1999. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen En Paarden, 416 pp.
- Sobel A.T., (1972). Olfactory measurement of animal manure odour. *Transactions of the ASAE*, 696-699, 703.

- Spoelstra S.F., (1979). Volatile fatty acids in anaerobically stored piggery wastes. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 27, 60-66.
- Spoelstra S.F., (1980). Origin of objectionable odorous components in piggery wastes and the possibility of applying indicator components for studying odour development, *Agriculture and Environment* (1980), 5, 241-260.
- Steffens, G., Klasink, A., & Lorenz, F. (1990). The release of ammonia from slurry storage containers and after spreading manure treated with different manure additives (Ammoniakfreisetzung aus Flüssigmistlagerbehältern und nach Gülleausbringung bei unterschiedlichen Güllezusätzen). *Ammoniak in der Umwelt. Kreisläufe, Wirkungen, Minderung* (p. 7).
- Stevens, R. J., Laughlin, R. J., & Frost, J. P. (1989). Effect of acidification with sulphuric acid on the volatilization of ammonia from cow and pig slurries. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 113, pp389-395.
- Stuut, H. (1997). Keurmerken voor mestopslagsystemen en stallen. *Mestproblematiek. Studiedag Technologisch Instituut*.
- Sutton A.L., Kephart K.B., Patterson J.A., Mumma R., Kelly D.T., Bogus E., Jones D.D. & Heber A., (1997). Dietary manipulation to reduce ammonia and odorous compounds in excreta and anaerobic manure storages. In : *Ammonia and odour control from animal production facilities*, Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, 245-252.
- Svensson, L. (1991). Ammonia losses from slurry storages-review of research and measures for reduction . *International Seminar CIGR: Environmental Challenges and solutions in agricultural engineering. Proceedings* .
- Swierstra, D., Kroodsmas, W., & Smits, M. C. J. (1994). Slip resistance and ammonia volatilization of slatted and solid floors in cubicle houses for cattle. *XII World congress on Agricultural Engineering* (pp. pp575-581). *EurAgEng, ASAE, CIGR*.
- Tamminga, S. (1992). Nutrition Management of Dairy Cows as a Contribution to Pollution Control. *Journal of Dairy Science*, 75, 345-357.
- Tamminga, S., Van Straalen, W. M., Subnel, A. P. J., R.G.M. Meijer, Steg, A., Wever, C. J. G., & Blok, M. C. (1994). The Dutch protein evaluation system: the DVE/OEB-system. *Livestock Production Science*, (40), 139-155.
- Thacker, P. A., Campbell, G. L., & Grootwassink, W. D. (1992). Effect of Salinomycin and enzyme supplementation on nutrient digestibility and the performance of pigs fed barley- or rye-based diets. *Canadian Journal of Animal Science*, 72, 117-125.
- Thompson, J. (1997). Pegulit the Natural Way to Reduce Emissions from Manure Storage Tanks A Scientifically and Practically Proven Product. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, *Ammonia and odour emission from animal production facilities*, 607-613.
- Turner, L. W., Cromwell, G. L., Bridges, T. C., Carter, S. D., & Gates, R. S. (1996). Ammonia (NH₃) emission from swine waste as influenced by diet manipulation. *Conference Proceedings: First International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations (ICAPAO96)* (pp. 453-458).
- Valli, L., Piccinini, S., & Bonazzi, G. (1991). Ammonia emission from two poultry manure drying systems. *Cost 681 Expert Odours Group Workshop: Odour and Ammonia Emissions from*

- Livestock Farming (pp. 50-58). London/New York: Elsevier Applied Science.
- van Asseldonck M.M.L. & Voermans J.A.M., (1989). Toepassing van biobedden in de varkenshouderij. Proefstation voor de varkenshouderij. Proefverslag : P 1.47.
- van de Sande Schellekens, A., & Backus, G. (1993). Bedrijfsinpasbaarheid van biowassers. Praktijk-Onderzoek Varkenshouderij, juni, nr 3, pp 5-8.
- van de Sande Schellekens, A., & Backus, G. (1993). Een biobed, geen praktische oplossing. Praktijk-Onderzoek Varkenshouderij, augustus, nr 4, pp 23-26.
- van de Sande Schellekens, A. L. P., & Backus, G. B. C. (1993). Ervaringen met biobedden op vleesvarkensbedrijven in PROPRO. Proefstation Voor De Varkenshouderij: Proefverslag, nr. P 1.99, 40p.
- van de Sande-Schellekens A.L.P., Backus G.B.C. & Bokma Sj., (1993). Ervaringen met diepstrooisel op een vleesvarkensbedrijf in PROPRO. Proefstation voor de Varkenshouderij. Proefverslag ; P1.102.
- van de Weerdhof, A. (1996). Beschikbare Groen Label stallen in de pluimveehouderij. Studiedag: Techniek: energie en milieu, 16-18.
- Van den Weghe, H. F. A., & Kaiser, S. (1998). Effect of Low Crude Protein Level in Different Phase Feeding Strategies on indoor Air Quality and Ammonia Emission Rates of Finishing Pig Facilities. 49th Annual Meeting of the European association for Animal Production Commision on Anima Managment and Health - Session VI .
- van der Eerden, L. J., Harssema, H., & Klarenbeek, J. V. (1981). Air from livestock buildings and plants. The relationship between the herd size and the risk of damage to plants growing around intensive cattle units. IDO-rapport 254. Wageningen, Nederland:
- van der Kaa, C. C. R., & van Gastel, J. P. B. F. (1997). Ontwerp van biologische stikstofverwijderingssystemen voor varkensmest. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Proefverslag P1.192.
- van der Peet-Schwering, C. M. C., Verdoes, N., & Voermans, M. P. (1996). Effect van voeding en huisvesting op de ammoniakemissie uit vleesvarkensstallen. Varkensproefbedrijfs Zuid- en West-Nederland Sterksel.
- van der peet-Schwering, C. M. C., Beurskens-Voermans, M. P., & Verdoes, N. (1997). Effect van multifasevoeding op de ammoniakemissie uit vleesvarkensstallen. Varkensproefbedrijf Zuid- en West-Nederland Sterksel.
- van der peet-Schwering, C. M. C., aarnink, A. J. A., Rom, H. B., & Dourmad, J. Y. (1999). Ammonia emissions from pig houses in The Netherlands, Denmark and France. Livestock Production Science., 58, 265-269.
- van Gastel, J., & van der Kaa, C. (1997). Handleiding biologische stikstofverwijdering uit mest.
- van Geelen M. & van der Hoek K.W., (1982). Stankbestrijdingstechnieken voor stallen in de intensieve veehouderij. IMAG, Wageningen, publicatie 167.
- van Gemert L.J. & Nettenbreijer A.H., (1977). Compilation of odour treshold values in air and water. Central Institute for Nutrition and Food Research, Zeist, Netherlands, june 1977.

- Van Langenhove H. & De Roo K., (1994). Hinder : Stank. In : 'Leren om te keren'. Red. Verbruggen A., VMM, Garant, Leuven-Apeldoorn, 1994.
- Van Langenhove H. & Wens I., (1998). Ammoniakemissiereductie in de landbouw. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse landmaatschappij - Mestbank.. Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent. November 1998, 280p.
- van Middelkoop, K. (1994). New concept in poultry housing - the ventilated litter floor. *Misset World Poultry*, 10(3), 32-33.
- van Middelkoop J.H. , (1994). Naar veehouderij en milieu in balans - 10 jaar FOMA onderzoek, Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 19 (pluimvee), 4 oktober 1994. Uitgave : Ministerie van Landbouw en Visserij (Nederland).
- Van Oeckel, M., Bekaert, H., Warnants, N., De Paepe, M., & Boucqué, Ch. (1998). Supplementatie van synthetische aminozuren. *Top Techniek Varkens*, 7, 18-20.
- van Ouwerkerk, E. N. J. (1993). Meetmethoden NH₃ uit stallen. DLO report 16. Wageningen, Nederland. Pp. 19-54
- Van Vuuren, A. m., Koelen, C. J., van der Valk, H., & de Visser, H. (1993). Effects of partial replacement of ryegrass by low protein on rumen fermentation and nitrogen loss by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 76, 2982-2993.
- Van Vuuren, A. M., & Jongbloed, A. W. (1994). De rol van veevoedingsmaatregelen bij de beperking van de NH₃emissie uit stallen. Raamplan. Rapport no.272. Lelystad: ID-DLO (IVVO).
- van Weerden, E. J. (1987). Effects of clenbuterol on N deposition and carcass composition in castrated male pigs. J.P. Hanrahan Beta-agonists and their effects on animal growth and carcass quality. (pp. 152-162). New York: Elsevier Applied Science.
- Vandenbosch, A. (1998). Tweefasevoeding voor drachtige zeugen. *Top Techniek Varkens*, 2, 28-29.
- Vanstaen, H. (1977). Methodiek voor de biologische zuivering van varkensmengmest van grote en middelgrote bedrijven. Proefschrift tot het bekomen van de graad van Doctor in de Milieusanering, Faculteit Landbouwwetenschappen, 203p. Rijksuniversiteit Gent.
- Veenhuizen, M. A., & Qi, R. (1993). Manure storage PH adjustment to control gas release. ASAE Winter Meeting, Chicago, Illinois, December 14-17, 1993(no. 93-4552).
- Veldkamp, T. (1991). Effect van droog en rul strooisel: betere technische resultaten en meer ammoniakuitstoot. *Pluimveehouderij*, 21(nr 33)
- Veldkamp, T. (1991). Invloed strooiselkwaliteit op technische resultaten en ammoniakuitstoot is groot bij kalkoenen. PP-Uitgave 'Praktijkonderzoek Voor De Pluimveehouderij', 91/4, pp 23-24.
- Verdoes N. & Ogink N.W.M., (1997). Odour Emission from Pig Houses with Low Ammonia Emission. In : Ammonia and odour control from animal production facilities, Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, p317-325.
- Vertregt en Rutgers, 1987. Geciteerd in "Naar stallen met een beperkte ammonia bronnen, processen, factoren. Stuurgroep emissie-arme huisvestingssystemen (sept. 1990).
- Visek, W. J. (1978). The mode of growth promoting by antibiotics. *Journal of Animal Science*, 46, 1447-1469.

- VROM, 1996. Richtlijn Veehouderij en Stankhinder. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Den Haag, Nederland.
- Westerman P.W. & Zhang R.H., (1997). Aeration of Livestock Manure Slurry and Lagoon Liquid for Odor Control: A Review. *Applied Engineering in Agriculture*, 13(2), 245-249
- Williams, A. G., & Nigro, E. (1997). Covering slurry stores and effects on emissions of ammonia and methane. J. A. M. Voermans, & G. Monteny, Ammonia and odour emission from animal production facilities, 421-428.
- Witter, E. (1991). Use of CaCl₂ to decrease ammonia volatilization after application of fresh and anaerobic chicken slurry to soil. *Journal of Soil Science*, 42(3), 369-380.
- Young J.A., Classen J.J., Bottcher R.W. & Westerman P.W., (1997). Biofiltration system for testing the reduction of odor from swine buildings. In : Ammonia and odour control from animal production facilities, Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, p521-528..
- Young, J. S., Classen, J. J., Bottcher, R. W., & Westerman, P. W. (1997). Design, construction, and validation of a pilot-scale biofiltration system for the reduction of swine odor. 1997 ASAE Annual International Meeting .
- Zebrowska, T., Buraczewska, L., & Horaczynski, H. (1978). Apparent digestibility of nitrogen and aminoacids and utilization of protein given orally or introduced into the large intestine of pigs. *Roczn. Nauk Roln., Ser. B*, 99, 99-105.
- Zhang R.H., Dugba P.N. & Bundy D.S., (1997). Laboratory Study of Surface Aeration of Anaerobic Lagoons for Odor Control of Swine Manure. *Transactions of the ASAE*, 40(1), 185-190.
- Zhang Y. & Gaakeer W., (1998). An Inflatable Cover for a Concrete Manure storage in a Swine Facility. *Applied Engineering in Agriculture*, (1998), 14(5), 557-561.
- Zhang R.H. & Westerman P.W., (1997). Solid-Liquid Separation of Animal Manure for Odor Control and Nutrient Management. *Applied Engineering in Agriculture*, 13(5), 657-664.
- Zhu J., (1998). A Laboratory Study of an Aerated Lagoon Bioblanket for Swine Manure Odor Control. *Environmental Technology*, 19, 1085-1093.
- Zhu J., Bundy D.S., Xiwei Li & Rashid N., (1997). Controlling Odor and Volatile Substances in Liquid Hog Manure by Amendment. *Journal of Environmental Quality*, 26, 740-743.

**Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
departement Wetenschap, Innovatie en Media
ADMINISTRATIE WETENSCHAP EN INNOVATIE**



Programma Beleidsgericht Onderzoek

Projectvoorstel

**Terug te sturen vóór 1 november 1997 aan :
Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Administratie Wetenschap en Innovatie
Afdeling Wetenschappen
t.a.v. de heer Jo Decuyper
Boudewijnlaan, 30
1000 Brussel**

1. Identificatie van de indiener(s)**1.1. Promotor - Woordvoerder**

Naam en voornaam : Berckmans Daniel

Instelling : K.U.Leuven

Faculteit - afdeling : Fac. Landbouwkundige & Toegepaste Biologische Wetenschappen

Onderzoekseenheid : Labo voor Agrarische Bouwkunde

Straat en nr : Kardinaal Mercierlaan 92

Postnummer en gemeente : 3001 HEVERLEE

tel :016/32.14.36
016/32.17.26

fax :016/32.19.94

e-mail :
Daniel.Berckmans@agr.kuleuven.ac.be**1.2. Co-promotor 1**

Naam en voornaam : Van Langenhove Herman

Instelling : Universiteit Gent

Faculteit - afdeling : Faculteit Landbouwkundige & Toegepaste Biologische Wetenschappen

Onderzoekseenheid : Vakgroep Organische Chemie

Straat en nr. : Coupure Links 653

Postnummer en gemeente : B-9000 GENT

tel : 09 / 264 59 53

fax : 09 / 264 62 43

e-mail : herman.vanlangenhove@rug.ac.be

1.3. Co-promotor 2 (voeg extra kopies toe als er meer co-promotoren zijn)

Naam en voornaam : Vinckier Chris

Instelling : K.U.Leuven

Faculteit - afdeling : Faculteit Wetenschappen-Departement Scheikunde

Onderzoekseenheid : Fysische en Analytische Chemie

Straat en nr. : Celestijnenlaan 200F

Postnummer en gemeente : 3001 Leuven

tel :016/327376

fax :016/327992

e-mail :
Chris.Vinckier@chem.kuleuven.ac.be

2. Identificatie van het project
2.1 Titel
Ontwikkeling van een eenvoudige procedure voor de bepaling van geur- en ammoniakemissies van agrarische constructies ten behoeve van een aangepaste milieureglementering in Vlaanderen
2.2 Bondige beschrijving van het onderwerp van het project in het Nederlands (voeg een uitgebreidere beschrijving als bijlage toe- max. 5 p.).
Het is de bedoeling om in dit onderzoeksproject met betrekking tot de milieureglementering voor landbouwbedrijfsgebouwen en mestopslagsystemen een haalbaarheidsstudie voor geur- en ammoniakemissie reductie uit te voeren. Deze studie ligt aan de basis van een objectieve procedure voor milieulabelling van landbouwbedrijfsgebouwen (cfr. afstandsregels op basis van waarderingspunten in VLAREM II). Hiertoe zullen volgende concrete doelstellingen gerealiseerd worden: • een grondige literatuurstudie dient uit te wijzen welke geur- en ammoniakreductietechnieken reeds bestaan en toegepast worden bij de intensieve veehouderij. Deze inventaris zal zowel nageschakelde als geïntegreerde maatregelen omvatten. Voor elk van deze technieken zal een technische efficiëntie-analyse en een economische evaluatie uitgevoerd worden, wat kan leiden tot een koppeling van de reductiemogelijkheid aan de kostprijs. • het uitwerken van een eenvoudige, wetenschappelijk verantwoorde en op grote schaal realiseerbare procedure om geur- en ammoniakemissies te bepalen van bestaande en nieuwe agrarische constructies. • het op praktijkschaal vergelijken van hiervoor in aanmerking komende technieken zoals: - <u>voor ammoniak</u>: 1. een stikstofbalansmethode 2. een goedkoop elektronisch sensorprincipe 3. een optische methode op basis van een infrarood meettechniek 4. recent beschikbare electrochemische sensoren met een directe wetenschappelijk gefundeerde referentiemethode (debietsensor + NOx-analyser) op basis van veldmetingen. De referentiemethode is beschikbaar uit een voorgaand project (Ministerie van Landbouw) - <u>voor geur</u> 1. het benaderen van de problematiek vanuit immissie-oogpunt met snuffelploegen 2. het benaderen van de problematiek vanuit emissie-oogpunt met olfactometrische metingen 3. het uittesten van de toepasbaarheid van elektronische sensoren (elektronische neus) 4. het uittesten van de toepasbaarheid van chemische analyses
2.3 Tijdschema (met aanduiding van de mijlpalen)
De volledige duur van het project is 24 maanden Mijlpalen: na 3 maanden: Operationele meetinstallatie in 2 verschillende bedrijfstypes na 9 maanden: literatuurstudie over beschikbare technieken, hun efficiëntie en de kostprijs na 18 maanden: Beschikbare meetgegevens van ammoniak en geur over een meetperiode van 1 jaar met elk van de hoger beschreven technieken na 21 maanden: Een analyserapport met alle meetresultaten na 24 maanden: Een uitgewerkte procedure voor de bepaling van ammoniak- en geuremissies van landbouwbedrijfsgebouwen

3. Oriëntatie van het project

3.1 *Bij welk(e) Thema('s) - zoals gespecificeerd in de Oproep - is het project te situeren ?*

<i>Thema</i>	<i>Nummer</i>
Haalbaarheidsstudie reductie geur- en ammoniakemissie op stalniveau	48
Actiepunten voor de reductie van Methaan- en ammoniakemissie	47
Verzuring	52

3.2 *Welke beleidsinstanties, andere dan de Vlaamse administratie, zouden de resultaten van het project kunnen gebruiken? (specificeer zo nauwkeurig mogelijk)*

- Een op te richten “milieu-labelling-organisme” voor agrarische constructies (cfr. groen label in NL)
- De VLM (afdeling mestbank), de VMM, de OVAM, de VWM
- CORINAIR
- Eenieder die betrokken is bij het toekennen van milieu- en uitbatingsvergunningen van land- en tuinbouwbedrijven (milieuambtenaren op gemeentelijk vlak, provinciebesturen, MER deskundigen.)

3.3 *Welke instanties, andere dan beleidsinstanties, zouden de resultaten van het project kunnen gebruiken? (specificeer zo nauwkeurig mogelijk)*

- *Constructeurs van agrarische constructies (stallen, mestopslagsystemen), toeleveringsbedrijven en veevoederfabrikanten*
- *Fabrikanten van ammoniak- en geurreduktietechnieken (biofilters, mestadditieven,...)*
- *Individuele land- en tuinbouwers t.b.v. milieubewuste investeringen*

4. **Valorisatie van het project**

(beschrijf zo nauwkeurig mogelijk op welke wijze u de resultaten van het onderzoek zal valoriseren c.q. bekend zal maken)

Naast de bekendmaking van de onderzoeksresultaten via de gebruikelijke kanalen (publicaties in nationale en internationale tijdschriften, deelname aan congressen en studiebijeenkomsten) zullen de resultaten van dit onderzoek op volgende wijze gevaloriseerd worden:

- *Via de participatie van twee onderzoekspartners in de CEM-werkgroep “waarderingspunten VLAREM-II” o.l.v. de ALT.*
- *Door de hieruit resulterende integratie in de Vlarem II wetgeving, onder andere door het toekennen van waarderingspunten aan stallen en mestopslagsystemen op basis van een wetenschappelijk verantwoorde procedure (cfr. afstandsregels).*
- *Via een op te richten “milieu-labellings-organisme” dat in Vlaanderen voor alle agrarische constructies een aantal waarderingspunten toekent en de correcte werking van de systemen te velde controleert.*
- *Via Mina II waarin een actieplan voor de reductie van methaan- en ammoniakemissie moet voorgesteld worden; de resultaten van dit onderzoek kunnen tevens kaderen binnen het thema ‘verstoring door geurhinder’ waarbij veestallen (pluimvee, varkens en rundvee) als homogene en prioritaire sectoren beschouwd worden*
- *Via het in ontwikkeling zijnde “ammoniakreductieplan voor Vlaanderen”*

5a. Samenstelling van de onderzoeksgroep (enkel academisch en wetenschappelijk personeel) - promotor

<i>Naam en voornaam</i>	<i>Statuut</i>	<i>In dienst sinds</i>
K.U.Leuven (Labo Agrarische Bouwkunde)		
Onderzoeksgroep Prof. D. Berckmans		
Berckmans Daniel	ZAP	1979
Aerts Jean-Marie	CON	1993
Castelein Bernard	CON	1996
Deneus Eric	CON	1997
Hendriks Jos	AAP	1994
Janssens Karl	MAND	1995
Nys Katrien	INST	1997
Saevels Peter	CON	1995
Van Pee Marc	AAP	1993
Vranken Erik	CON	1985
White Lisa	INST	1997
De Wet Lourens (Onderzoeksuitwisselingsprogramma)	CON	1998
Price Laura (Onderzoeksuitwisselingsprogramma)	CON	1996

Gebruik voor “statuut” volgende afkortingen :

ZAP : zelfstandig academisch personeel
 AAP : assiterend academisch personeel
 MAND : bursaal FWO/IWT

EU : vorser EU-contract, TMR enz.
 INST : bursaal instelling
 CON : vorser op extern contract
 AND : andere statuten

6a. Informatie over de LOPENDE onderzoeksprojecten.
Voeg tevens een lijst toe van de volgens u meest relevante publicaties die uit het geheel van deze projecten zijn voortgekomen (maximaal 10) - promotor

Titel :Integratie in het management van veeteeltbedrijven van modelondersteunende meet- en regelsystemen voor het stalklimaat

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>K.U.Leuven</i>	<i>7.000.000 Bfr</i>	<i>1-12-96</i>	<i>1-12-98</i>

Titel :Milieu- en bioprocesbeheersing d.m.v. "on-line" adaptieve modellering van dynamische plantresponsies op variaties van het micro-milieu

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>FKFO</i>	<i>7.280.000 Bfr</i>	<i>1-1-97</i>	<i>31-12-99</i>

Titel :Automatische adaptieve regeling van het klimaat in varkensstallen o.b.v. biomerkers als verklikkers van infectieprocessen

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>Min. v. Landbouw</i>	<i>11.380.000 Bfr</i>	<i>1-8-97</i>	<i>1-8-99</i>

Titel :Regelalgoritme voor een hogere biologische efficiëntie in dierlijke bioprocessen op basis van on-line modellering van snelle fysiologische responsies

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>FKFO</i>	<i>9.400.000 Bfr</i>	<i>1-1-96</i>	<i>31-12-98</i>

Titel :Ontwikkeling van een geautomatiseerd systeem voor de continu observatie van het gedrag bij landbouwhuisdieren

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>Min. v. Landbouw</i>	<i>12.300.000 Bfr</i>	<i>1-12-96</i>	<i>1-12-98</i>

Titel :Het modelgebaseerd sturen van het groeitraject en de produktiekwaliteit van vleeskuikens

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>Min. v. Landbouw</i>	<i>31.000.000 Bfr</i>	<i>1-12-96</i>	<i>1-12-98</i>

Titel :Procesautomatisatie in de intensieve veehouderij

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>Fancom b.v. (NL)</i>	<i>2.500.000 Bfr/jaar</i>	<i>1-1-92</i>	<i>onbepaald</i>

Titel :Modelgebaseerde regeling van het dynamisch gedrag van het micro-milieu in bioprocessen

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>FWO</i>		<i>1-10-95</i>	<i>1-10-99</i>

Titel :Implementation of a new general modelling approach to control imperfectly mixed processes (CONIMPRO)

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>Vl. Ministerie. Wetenschapsbeleid</i>	<i>4.200.000 Bfr</i>	<i>1-10-95</i>	<i>30-9-97</i>

Titel : Ontwikkeling van een model gebaseerde regelaar voor luchtdebietsturing

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>

<i>Industrie</i>	<i>1.500.000 Bfr</i>	<i>1-10-97</i>	<i>31-9-98</i>
------------------	----------------------	----------------	----------------

6b. Informatie over de LOPENDE onderzoeksprojecten.
Voeg tevens een lijst toe van de volgens u meest relevante publicaties die uit het geheel van deze projecten zijn voortgekomen (maximaal 10) - copromotor 1

Titel : Duurzaam Beheer van de Noordzee: Biogeochemie van nutriënten, metalen en organische micropolluenten in de Noordzee; Subproject: Biogeochemie van organische micropolluenten in de Noordzee

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>D.W.T.C.</i>	<i>12 500 000 BF</i>	<i>1/1/1997</i>	<i>31/12/2001</i>

Titel : Onderzoeksopdracht 'Geurproblematiek champignoncomposteringsbedrijven'

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>AMINAL</i>	<i>300 000 BF</i>	<i>1/10/1997</i>	<i>31/12/1997</i>

Titel : Milieu- en Natuurrapport Vlaanderen: Thema 'Stank'

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>V.M.M.</i>	<i>450 000 BF</i>	<i>15/07/1997</i>	<i>15/12/1997</i>

Titel : Biofiltratie van complexe afvalgassen

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>I.W.T.</i>	<i>2 300 000 BF</i>	<i>1/5/1996</i>	<i>30/4/1998</i>

Titel : Oxidatie van gechloreerde koolwaterstoffen met behulp van ultrasone golven en met de COUSI-techniek

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>I.W.T.</i>	<i>3 000 000 BF</i>	<i>1/10/1994</i>	<i>30/9/1998</i>

Titel : Beperking van geuremissies bij GFT-compostering

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>VLACO</i>	<i>300 000 BF</i>	<i>1/9/1997</i>	<i>31/12/1997</i>

Titel : Onderbouw van geurnormering

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>AMINAL</i>	<i>3 500 000 BF</i>	<i>1/1/1997</i>	<i>31/12/1997</i>

Titel : Modelleren van de lucht-water uitwisselingskinetiek van vluchtige organische stoffen in niet-stilstaande wateren in functie van het turbulentieniveau

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>F.W.O.</i>	<i>900 000 BF</i>	<i>1/7/1995</i>	<i>31/12/1997</i>

6.c Informatie over de LOPENDE onderzoeksprojecten.
Voeg tevens een lijst toe van de volgens u meest relevante publicaties die uit het geheel van deze projecten zijn voortgekomen (maximaal 10) Co-promotor 2

Titel : Kinetische Studie van de Degradatiemechanismen van Geselecteerde Terpenen met Hydroxylradicalen.

<i>Financierend org.</i> DWTC	<i>Totaal budget</i> 17.0000.000	<i>Begindatum</i> 01/12/1996	<i>Einddatum</i> 30/11/2002
----------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	--------------------------------

Titel : Kinetische studie van strontium atoom reacties tussen 300 en 1000 K

<i>Financierend org.</i> IWT	<i>Totaal budget</i> 2.460.000	<i>Begindatum</i> 01/10/1995	<i>Einddatum</i> 30/09/1999
---------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------

Titel : Oxidatie in de vloeibare fase van silicium door ozon

<i>Financierend org.</i> IWT	<i>Totaal budget</i> 1.230.000	<i>Begindatum</i> 01/10/1996	<i>Einddatum</i> 30/09/1998
---------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------

Titel :

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
--------------------------	----------------------	-------------------	------------------

Titel :

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
--------------------------	----------------------	-------------------	------------------

Titel :

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
--------------------------	----------------------	-------------------	------------------

Titel :

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
--------------------------	----------------------	-------------------	------------------

Titel :

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
--------------------------	----------------------	-------------------	------------------

Titel :

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
--------------------------	----------------------	-------------------	------------------

Titel :

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
--------------------------	----------------------	-------------------	------------------

7a. Informatie over de onderzoeksprojecten BEËINDIGD. na 01/01/1993. Voeg tevens een lijst toe van de volgens u meest relevante publicaties die uit het geheel van deze projecten zijn voortgekomen (maximaal 20) - promotor

Titel :Continu meting van ammoniakconcentraties en emissies in de intensieve veehouderij en reductie via een aangepaste procesregeling

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>Min. v. Landbouw</i>	<i>22.100.000 BF</i>	<i>1-8-93</i>	<i>1-8-97</i>

Titel :Modelleren en sturen van energie- en warmtetransfers in fluida

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>K.U.Leuven</i>		<i>1-10-93</i>	<i>31-3-95</i>

Titel :Aanwending van bestaande sensoren voor de meting en de beheersing van ammoniakemissies in dierlijke productie-eenheden.

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>VLIM</i>	<i>5.820.000 BF</i>	<i>1-9-1991</i>	<i>31-3-94</i>

Titel :On-line modellering van snelle fysiologische responsies als basis voor een hogere biologische efficiëntie in dierlijke processen

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>FKFO</i>	<i>8.460.000 BF</i>	<i>1-1-93</i>	<i>31-12-95</i>

Titel :Haalbaarheidsstudie van het operationeel maken van een Daphnia-monitor op basis van beeldverwerking voor continue bewaking van waterkwaliteit

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>VLIM</i>	<i>5.951.000</i>	<i>1/7/94</i>	<i>31/12/95</i>

Titel : Milieu- en bioprocesbeheersing b.m.v. de monitoring, de modellering en de adaptieve regeling van dynamische responsies op micro-milieuvariabelen

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>NFWO</i>	<i>21.268.000</i>	<i>10/87</i>	<i>09/97</i>

Titel : Regelalgoritme voor de hogere biologische efficiëntie in dierlijke bioprocessen op basis van on-line modellering van snelle fysiologische responsies

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>NFWO</i>	<i>2.530.000</i>	<i>9/95</i>	<i>12/96</i>

Titel : In vivo voorspelling van slachtkwaliteit bij varkens

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>IWONL</i>		<i>1/5/90</i>	<i>30/4/96</i>

Titel :

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>

7b. Informatie over de onderzoeksprojecten BEËINDIGD na 01/01/1993. Voeg tevens een lijst toe van de volgens u meest relevante publicaties die uit het geheel van deze projecten zijn voortgekomen (maximaal 20) - copromotor 1

Titel : Impulsprogramma Zeewetenschappen : Intercompartimentele distributie van mono-aromatische koolwaterstoffen en C1-C2 organochloorverbindingen in het Noordzee-milieu

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>D.W.T.C.</i>	<i>8 969 000 BF</i>	<i>1/10/1992</i>	<i>31/12/1996</i>

Titel : Geurbestrijding door biofiltratie bij anaerobe afvalwaterzuivering

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>VLIM</i>	<i>4 000 000 BF</i>	<i>1/8/1992</i>	<i>31/7/1994</i>

Titel : Combinatie van chemische oxidatie en ultrasone golven voor de afbraak van organische polluenten in waterig milieu

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>VLIM</i>	<i>3 500 000 BF</i>	<i>1/3/1995</i>	<i>31/8/1996</i>

Titel : Onderzoeks- en ontwikkelingsovereenkomst inzake de NH3-emissie door de landbouw Deel I

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>V.M.M.</i>	<i>1 250 000 BF</i>	<i>1/10/1995</i>	<i>31/5/1996</i>

Titel : Onderzoek- en ontwikkelingsovereenkomst inzake de NH3-emissie door de landbouw Deel II

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>V.M.M.</i>	<i>1 000 000 BF</i>	<i>1/6/1996</i>	<i>31/10/1996</i>

Titel : Onderzoek tot onderbouw van de kwaliteitsdoelstellingen voor het beleid inzake geurhinder

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>AMINAL</i>	<i>1 800 000 BF</i>	<i>1/1/1996</i>	<i>31/12/1996</i>

Titel : Onderbouw van geurnormering

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>AMINAL</i>	<i>3 000 000 BF</i>	<i>1/1/1996</i>	<i>31/12/1996</i>

Titel : Biologische oxidatie van methylsulfiden in een biofilter

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>I.W.T.</i>	<i>2 200 000 BF</i>	<i>1/10/1991</i>	<i>30/9/1995</i>

Titel : Onderzoek van interacties tussen vluchtige organische polluenten en biota

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>F.W.O.</i>	<i>???</i>	<i>1/10/1993</i>	<i>20/6/1997</i>

Titel : Geurproblemen rond het industriegebied van Lummen

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
<i>AMINAL</i>	<i>1 220 000 BF</i>	<i>15/9/1996</i>	<i>31/5/1997</i>

7. Informatie over de onderzoeksprojecten BEËINDIGD. na 01/01/1993. Voeg tevens een lijst toe van de volgens u meest relevante publicaties die uit het geheel van deze projecten zijn voortgekomen (maximaal 20) - copromotor 2

Titel : Continue meting van ammoniak emissies in de intensieve veehouwing en reductie door aangepaste processturing.

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
IWONL	13.200.000	01/01/1993	31/12/1994

Titel : Continue meting van ammoniak emissies in de intensieve veehouwing en reductie door aangepaste processturing

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
Ministerie van Landbouw en Middenstand	8.900.000	01/07/1995	31/06/1997

Titel : Fundamenteel onderzoek van contaminatie-vrije ets-processen voor nieuwe generatie halfgeleider componenten

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
NFWO	10.450.000	01/01/1991	31/12/1996

Titel : "Rol van α -Pineen bij de vorming van "broeikas" gasen in de atmosfeer

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
DWTC	20.550.000	01/01/1991	31/12/1996

Titel : Literatuurstudie Ozonproblematiek in de VSA

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
Ministerie van Leefmilieu	2.192.000	01/02/1996	31/01/1997

Titel : Studie van reacties van koperatomen met alkylhalogeniden in de gasfase tussen 300 en 1000K

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
NFWO	3.750.000	01/10/1992	30/09/1996

Titel : Kinetische studie van calciumatoom reacties in de gasfase tussen 300 en 1000 K

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
IWT	1.631.000	01/10/1992	30/09/1995

Titel :

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>

Titel :

<i>Financierend org.</i>	<i>Totaal budget</i>	<i>Begindatum</i>	<i>Einddatum</i>
--------------------------	----------------------	-------------------	------------------

8. Geef naam en coördinaten van minimaal twee binnen- of buitenlandse (bij voorkeur Nederlandse) experts die de wetenschappelijke waarde van een onderzoeksproject als dit zouden kunnen beoordelen. (De Administratie Wetenschap en Innovatie maakt de definitieve selectie van de experts en gaat na of de experts bereid/beschikbaar zijn om te evalueren).

1. Dr. Metz

Hoofd Afdeling Bedrijfsgebouwen

IMAG-DLO

Mansholtlaan 10-12

Postbus 43

6700 AA Wageningen (NL)

Tel. (31) 8370-76300

2. Prof. Dr. R. Dams

Instituut Nucleaire Wetenschappen

Proeftuinstraat, 86

B-9000 Gent.

Tel.: +32 9 2646600 or : +32 9 2646578

Fax.: +32 9 2646699

3. Prof. Dr. ir. H. Van den Weghe

Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser/Ems

Driverstraße 22

D - 49377 VECHTA

4.

9. Aangevraagde kredieten (per jaar)

Post	1998	1999	2000	Totaal
------	------	------	------	--------

9.1 Promotor

Personeel	3.085.000	2.864.000		5.949.000
Werking	1.100.000	600.000		1.700.000
Uitrusting	1.600.000	0		1.600.000
Overhead	598.500	346.400		944.900
Totaal	6.383.500	3.610.400		10.193.100

9.2 Co-promotor 1

Personeel	2.440.000	3.045.000		5.485.000
Werking	1.200.000	690.000		1.890.000
Uitrusting	1.600.000	0		1.600.000
Overhead	524.000	373.500		897.500
Totaal	5.764.000	4.108.500		9.872.500

9.3 Co-promotor 2:

(Gedeeltelijk inbegrepen in het budget van de promotor)

Personeel	/	/		
Werking	/	/		
Uitrusting	200.000	/		200.000
Overhead	/	/		
Totaal	200.000	/		200.000

9.4 Algemeen Totaal

Personeel	5.525.000	5.909.000		11.434.000
Werking	2.300.000	1.290.000		3.590.000
Uitrusting	3.400.000	0		3.400.000
Overhead	1.122.500	719.900		1.842.400

Totaal	12.347.500	7.918.900		20.266.400
--------	------------	-----------	--	------------

10a. Motiveer omvang en spreiding over de jaren van de aangevraagde kredieten voor personeel (wetenschappelijk, administratief-technisch, bursalen?), werking en uitrusting- deel promotor / copromotor 2

Personeelskosten:

1 universitair bio-ingenieur (2 j. ancienniteit) voor het uitvoeren van de literatuurstudie naar ammoniakreductietechnieken (9 maanden, deeltijds), het opzetten van het meetscenario (3 maanden deeltijds), het begeleiden en opvolgen van de metingen (6 maanden deeltijds en 9 maanden voltijds), het uitschrijven van het meetrapport (3 maanden) en het uitwerken van een procedure voor de milieulabelling voor agrarische constructies (3 maanden). Totaal: 24 maanden

Een techniek voor 18 maanden voor de opbouw en het ondersteunen van de ammoniakmeetinstallatie: opvolging van de metingen, wekelijkse ijkingen, reiniging van onderdelen en leidingen.

De werkzaamheden van de bio-ingenieur en de techniek worden verdeeld tussen de laboratoria van de promotor (Prof. Berckmans) en de tweede copromotor (Prof. Vinckier)

Uitrusting:

Er wordt vertrokken van een bestaande meetinstallatie (NOx-analyser + convertoren + datalogging) t.w.v. ongeveer 1.200.000 bfr. (De installatie wordt ter beschikking gesteld uit een voorgaand project gefinancierd door het Ministerie van Landbouw) De installatie moet wel gereviseerd worden (investering geschat op 400.000 Bfr). Bijkomende investeringen moeten gebeuren voor de andere meettechnieken: optische meetmethode (800.000 Bfr), elektronische sensoren (200.000 bfr), electrochemische sensoren (copromotor 2: 200.000) en stikstofbalansmethode (200.000 bfr voor gewichtsmeting van dieren en voeder)

Werkingskosten:

<i>-Onderhoud meetinstallatie</i>	<i>600.000</i>
<i>-Analyses mest en voeder (N-gehalte)</i>	<i>350.000</i>
<i>(35 weken x 10 analyses/week x 1000 bfr/analyse uitgevoerd door Lisec vzw)</i>	
<i>-Verplaatsingen</i>	<i>200.000</i>
<i>-Computergebruik + software</i>	<i>200.000</i>
<i>-Verzekering apparatuur</i>	<i>60.000</i>
<i>-Vergoeding landbouwer</i>	<i>100.000</i>
<i>-Modemlijn</i>	<i>50.000</i>
<i>-Bureelkosten</i>	<i>60.000</i>
<i>-Bekendmaking project, congressen</i>	<i>80.000</i>

De ammoniakmeettechniek werd gezamenlijk ontworpen door de onderzoeksgroepen van de promotor en de co-promotor 2 en gedurende een 4-tal jaren operationeel gehouden in een project van het Ministerie van Landbouw. De expertise van beide groepen is vereist om de installatie optimaal te laten functioneren en de ervaring heeft aangetoond dat dit best kan gebeuren met een gemeenschappelijk budget.

10b. Motiveer omvang en spreiding over de jaren van de aangevraagde kredieten voor personeel (wetenschappelijk, administratief-technisch, bursalen?), werking en uitrusting- deel copromotor 1

Personeelskosten:

*1 universitair bio-ingenieur voor het uitvoeren van de literatuurstudie m.b.t. geurreductietechnieken (9 maanden, deeltijds), het opzetten van het meetscenario (3 maanden deeltijds), het begeleiden en opvolgen van de metingen (6 maanden deeltijds en 9 maanden voltijds), het uitschrijven van het meetrapport (3 maanden) en het uitwerken van een procedure voor de milieulabelling voor agrarische constructies (3 maanden).
Totaal: 24 maanden*

Een techniker (A2) voor 18 maanden voor het ondersteunen van de monternamen en uitvoering van de metingen

Uitrusting:

Er zal een eigen inbreng gebeuren van een elektronische neus (waarde ± 1.500.000 BF), staalname-apparatuur en meetsondes (waarde ± 300.000 BF) en gebruik van GCMS (waarde ± 4.000.000 BF). Bijkomende investeringen moeten gebeuren voor de uitbouw van een olfactometrisch meetsysteem: aankoop olfactometer, voorverdunapparatuur (1.200.000 BF) en een PID (400.000 BF) voor de ijking van de verdunningen.

Werkingskosten:

-Opzetten olfactometrie, aankoop ijkassen, calibratie panel, vergoedingen deelname aan geurpanel	800.000
-Snuffelploegmetingen met panel	100.000
- Chemische analyses (GCMS)	200.000
-Onderhoud apparatuur	200.000
-Verplaatsingskosten	200.000
-Computergebruik + software	200.000
-Verzekering	50.000
-Bureelkosten	60.000
-Bekendmaking project, congressen	80.000

Namen, handtekeningen en data van ondertekening.

De ondertekenaars verklaren dat alle gegevens volledig en correct werden ingevuld. Zij nemen er kennis van dat de aanvraag als ongeldig zal worden beschouwd indien de verstrekte informatie onjuist of onvolledig is.

De promotor

**De rector of het hoofd van
de instelling**

De co-promotor

Uitgebreide beschrijving van het project

1. Probleemstelling

1.1. Het probleem van ammoniakemissie

Tot voor enkele jaren werden SO₂ en NO_x beschouwd als de voornaamste componenten die bijdragen tot de verzuring van de bodem en oppervlakte-wateren (Vanacker et al., 1988; Anonymus, 1981, 1984). Sinds 1982 is men tot het inzicht gekomen dat ammoniak-emissies eveneens een belangrijke bijdrage leveren tot deze verzuring. 29 % van de potentieel verzurende emissies in Vlaanderen wordt toegeschreven aan ammoniak (Dams et al., 1996)). De totale NH₃-emissie in België wordt geschat op 65x10³ t ammoniak per jaar (Dams et al., 1996)).

Er wordt aangenomen dat de hoge ammoniakemissies in de atmosfeer te associëren zijn met ecologische problemen en milieuschade (Buijsman en Erisman, 1988; Roelofs en Houdijk, 1991). De ammoniakconcentraties in dierlijke productie-eenheden lijken toe te nemen en zouden een potentiële bedreiging kunnen vormen voor mens en dier (Carr et al., 1990). De reductie van de NH₃-concentraties in de stallen en NH₃-emissies zijn belangrijk voor de landbouw in de praktijk. Dit niet enkel vanuit milieustandpunt maar tevens voor het menselijk en dierlijk welzijn alsook voor de produktieresultaten (Anonymus, 1990; Verstegen et al., 1976).

De vooropgestelde doelstelling van een reductie van 43 % in 2002 tenopzichte van 1990 (Dams et al., 1996) lijkt praktisch onhaalbaar.

Uit voorgaande blijkt dat de landbouw(er) binnen de huidige situatie van de milieuproblematiek in het defensief wordt gedrongen. Steeds meer wordt de landbouw er van beschuldigd een belangrijke vervuiler te zijn van het leefmilieu. Bedenkingen rondom de reductie van de veestapel werden reeds geopperd in Nederland. Toch blijft de realiteit geldig dat alle bronnen van vervuiling moeten gelokaliseerd, gekwalificeerd en gekwantificeerd worden om tot maatregelen en oplossingen te kunnen komen (Kretzschmar, 1984).

Het onderzoek dat vereist is om tot inzicht in het probleem te komen en om oplossingen te ontwikkelen is duur, de bekomen oplossingen zullen wellicht kostenverhogend werken. Binnen de Europese Unie moet worden vastgesteld dat buurlanden met dezelfde problematiek niet wachten op een Europese wetgeving inzake milieubeleid en nu reeds strenge nationale normen uitvaardigen. Dit leidt ongetwijfeld tot investeringen en kosten in het produktiesysteem. De vraag dient dan ook gesteld te worden hoe de overeenkomstige meerkost zal opgevangen worden binnen een "open" EEG-markt waarbinnen de concurrentie zal verscherpen. Daarbij dient tevens opgemerkt te worden dat buurlanden welke dienaangaande maatregelen nemen misschien anderen zullen dwingen analoge initiatieven te nemen. Het is inderdaad aangetoond dat de herkomst van de ammoniakdepositie en de plaatsen waar uitgestoten ammoniak terecht komt grensoverschrijdende problemen zijn (Asman en Janssen, 1987). Deze grensoverschrijdende problematiek geldt echter niet voor geur, waar het probleem zich vooral bij het lokale bestuursniveau manifesteert.

Het is duidelijk dat beslissingen niet lichtzinnig mogen genomen worden en voldoende kennis over deze problemen moet verzameld worden. Daarbij kunnen verschillende vragen gesteld worden: op welke plaatsen in het landbouwbedrijf treden de emissies op (stal, mestopslag, bemesting enz.), in welke hoeveelheden, hoe fluktueert deze emissie in functie van de tijd, welk zijn de meest bepalende invloedsfactoren (voeding, mestopslag, staltype, klimaatregeling, enz. ?) en hoe werken de mogelijke oplossingen (emissie-arme staltypes, hygiënische voorschriften, biofilter, additieven, ...).

1.2 Het probleem van de geuremissie

Op basis van een enquête gehouden bij de Vlaamse gemeentebesturen over de klachten tussen oktober 1992 en september 1993 enerzijds (Van Langenhove en De Roo, 1994) en op basis van de klachten binnengekomen bij de afdeling milieu-inspectie in de periode 1991-1995 anderzijds, werd een klachtenbestand gebundeld dat betrekking had op de landbouwsector. Uit dit gecombineerd klachtenbestand blijkt dat bij 24% van de geurklachten naar agrarische activiteiten verwezen wordt. De in het totaal 329 klachten rond de landbouwsector uit de gecombineerde bestanden werden opgesplitst naar een aantal aanwijsbare diercategorieën ('pluimvee', 'runderen', 'varkens' en 'overig vee', naar 'mesttoediening' en naar 'overige klachten'. Deze laatste categorie bevat alle klachten

Wanneer deze laatste categorie ('overige klachten') niet meegerekend wordt, ligt de verdeling binnen de aanwijsbare geurklachten als volgt: 31 % komt van mesttoediening, 42 % van varkens, 20 % van pluimvee, 5 % van runderen en 2 % van overig vee.

Indien de hierboven aangehaalde cijferwaarden representatief zijn voor de situatie op gebied van geur, kunnen volgende conclusies getrokken worden:

(1) het verplichten tot het emissie-arm toedienen van mest heeft betrekking op één derde van het totaal aantal bronnen

(2) met het invoeren van afstandsregels voor geur voor varkens- en pluimveestallen wordt 62 % van de geurklachten in Vlaanderen behandeld.

1.3 Beperkingen van de huidige Vlaamse wetgeving

Met betrekking tot de ammoniakemissie van landbouwbedrijfsgebouwen (stallen, mestopslagplaatsen, ed.) bestaan er in Vlaanderen, in tegenstelling tot de ons omringende landen, nog geen wetgevende bepalingen. In de Vlarem II reglementering is er wel sprake van waarderingspunten voor stallen, en worden op basis hiervan afstandsregels bepaald waaraan bepaalde bedrijven, ingeval van aanzienlijke uitbreiding of nieuwbouw, moeten voldoen. Dit systeem van afstandsregels is echter louter gebaseerd op geurhinder, terwijl vandaag ook de ammoniakemissie van stallen en mestopslag inzake milieuvervuiling een belangrijk aandeel vormen.

Ammoniak heeft echter niet onmiddellijk een hinderend effect, doch oefent met de verzurende depositie eerder een nadelig effect uit op fauna en flora. Hiervoor zijn afstandsregels een minder geschikt instrument dan bijvoorbeeld emissiebeperkingen. Indien toch voor afstandsregels geopteerd zou worden, moeten duidelijke criteria vastgelegd worden voor de zuurgevoelige gebieden (andere dan deze voor geur), waarbij rekening moet gehouden worden met de sterke versnippering binnen de Ruimtelijke Ordening in Vlaanderen. Er moet met andere woorden een minimale oppervlakte gekoppeld worden aan een zuurgevoelig gebied ofwel moet een nominatieve lijst opgesteld worden van de gebieden waar tegenover getoetst zal worden.

De huidige afstandsregels uit Vlarem II voorzien bovendien in een verregaande opsplitsing in het aantal combinaties tussen verschillende stalsystemen, verluchtingssystemen en mestopslagsystemen. De vraag kan gesteld worden in hoeverre deze opsplitsing nog relevant is. Een eerste fase van het project zou dan ook voorzien in het opmaken van een inventaris van bestaande stallen aan de hand van vb. milieuvergunningaanvragen. Een overzicht van de spreiding van het aantal waarderingspunten bij intensieve veeteeltbedrijven in Vlaanderen kan mogelijk leiden tot een nominatieve lijst met de meest frequent voorkomende systemen.

Een bijkomend nadeel van de huidige wetgeving is dat deze niet motiverend werkt, noch voor de landbouwer die bijkomende investeringen doet, noch op het vlak van onderzoek en ontwikkeling naar

nieuwe, meer milieuvriendelijke stalsystemen. Vermits er vandaag geen permanente controle gebeurt op de emissies vanuit landbouwbedrijfsgebouwen zullen nieuwe systemen in de praktijk weinig kans op slagen hebben.

2. Doelstelling

Gezien de hoger geschetste problematiek, is het de bedoeling om in dit onderzoeksproject met betrekking tot de milieureglementering voor land- en tuinbouw volgende globale doelstellingen te realiseren:

1. Inventarisatie van van de reductietechnieken van ammoniak- en geuremissies op landbouwbedrijven d.m.v. *literatuurgegevens*. Bij deze studie wordt beoogd om een technisch-economische evaluatie door te voeren van de beschikbare ammoniak- en geurreductietechnieken voor verschillende bedrijfstypes en huisvestingsvormen. Het economisch luik bestaat er ondermeer in de kostprijs van de technieken uit te zetten in functie van hun efficiëntie.

2. Uitvoeren van een haalbaarheidsstudie voor geur- en ammoniakreductie op stalniveau. Hiertoe zullen volgende concrete doelstellingen gerealiseerd worden:

- Het opstellen van een inventaris van de momenteel voorkomende combinaties van stalsystemen, verluchtingssystemen en mestopslagsystemen
- Het uitwerken van een eenvoudige, wetenschappelijk verantwoorde en op grote schaal realiseerbare procedure om geur- en ammoniakemissies te bepalen van bestaande en nieuwe agrarische constructies
- Het vergelijken van hiervoor in aanmerking komende technieken zoals:

- voor ammoniak:

1. een stikstofbalansmethode
2. een elektronische sensorprincipe
3. een optische meetmethode (infrarood)
4. een electrochemisch sensorprincipe

met een directe wetenschappelijk gefundeerde referentiemethode (debietsensor + NO_x-analyser) op basis van veldmetingen.

- voor geur

1. het benaderen van de problematiek vanuit immissie-oogpunt met snuffelploegen
 2. het benaderen van de problematiek vanuit emissie-oogpunt met olfactometrische metingen
 3. het uittesten van de toepasbaarheid van elektronische sensoren (electronische neus)
- Het uitwerken van een wetenschappelijk verantwoorde en op grote schaal realiseerbare procedure om geur- en ammoniakemissies te bepalen van bestaande en nieuwe agrarische constructies.

3 Methode

3.1. Technisch-economische analyse van de reductietechnieken

Op basis van een grondige literatuurstudie zal een inventaris opgesteld worden van bestaande ammoniak- en geurreductietechnieken, waarbij hun efficiëntie getoetst wordt in relatie tot de kostprijs. Bovendien zullen een aantal reductietechnieken op stalniveau zoals: aangepaste luchtdebietsturing, additieven, biofilters, stoffilters, mestkoelen, spoelsystemen, ed., op jaarbasis inzake efficiëntie alueerd worden door middel van simulaties. Op het Laboratorium voor Agrarische Bouwkunde (K.U.Leuven) zijn simulatiemodellen beschikbaar die het binnenklimaat in stallen en de ammoniakemissie van de uitgaande lucht kunnen berekenen op basis van de klimatologische gegevens uit een referentiejaar. De modellen zijn gebaseerd op ondermeer beschikbare literatuurgegevens en eigen meetgegevens uit een praktijkstal voor vleesvarkens, waarin verschillende reductietechnieken werden toegepast. Door modellen van de reductietechnieken te bouwen, en te koppelen aan de bestaande modellen, kan op basis van het “Netto Huidige Waarde”-criterium gezocht worden naar de best beschikbare technologie.

Op basis van deze gegevens kan een grafiek opgesteld worden waarbij de reductie-efficiënties i.f.v. de kostprijs kan afgeleid worden.

3.2. Haalbaarheidsstudie voor ammoniak- en geurreductie op bedrijfsniveau.

Vandaag bestaat er in Vlaanderen geen officieel erkende methode om de ammoniak- en geuremissie van stallen en mestopslagplaatsen te kwantificeren. Alvorens van overheidswege beperkende maatregelen te kunnen opleggen, dient er vooreerst een wetenschappelijk verantwoorde meetprocedure uitgewerkt te worden.

Voor het opstellen van een, op grote schaal inzetbare objectieve meetprocedure, zal de haalbaarheid en de nauwkeurigheid van de verschillende in de literatuur beschreven meetmethodes voor geur- en ammoniakemissie onderzocht worden d.m.v. vergelijkende metingen in bestaande praktijkstallen. Deze stallen zullen door de 2 onderzoeksploegen in onderling overleg gekozen worden. In en rond de stallen zullen de verschillende hoger vermelde meetmethodes voor geur en ammoniak uitgetest worden.

Dit moet uiteindelijk resulteren in een objectief beoordelingscriterium voor stallen en mestopslagplaatsen dat een onafhankelijk, nog op te richten “labelingsorganisme” in Vlaanderen moet toelaten om voor ieder bedrijfstype een aantal waarderingspunten toe te kennen en een permanente controle t.a.v. de gestelde milieukwaliteitsdoelstellingen uit te voeren.

3.3. Vereisten voor de meetlokatie

Uit de bestaande stalsystemen in Vlaanderen worden twee welomschreven stalsystemen uitgekozen waarvan de emissies naar verwachting duidelijk verschillen. Teneinde voldoende spreiding te bekomen op de gemeten emissiewaarden en teneinde de variatie hierover te kunnen uitmiddelen, wordt voorgesteld om van elk te onderzoeken stalsysteem drie herhalingen te nemen. De metingen gebeuren met andere woorden in driemaal twee vergelijkbare stallen.

De lokatie van de stallen zal dermate gekozen worden dat zij voldoende representatief zijn voor de Vlaamse varkenshouderij, en dat bovendien de snuffelploegmetingen zonder problemen kunnen uitgevoerd worden.

3.4. Korte beschrijving van de verschillende ammoniakemissie metingen

3.4.1. De referentiemethode

Om de ammoniakemissie te kennen moet het produkt van de ammoniakconcentratie en het ventilatiedebiet in ieder emissiepunt continu gemeten worden.

Ammoniakconcentraties worden gemeten met de volgende techniek. In elk compartiment is een converter voorzien die ammoniak in-situ omzet naar stikstofoxyde met een rendement van ongeveer 95%. Langs teflonleidingen (geen adsorptie van NO_x) die verwarmd worden met een zelfregulerend verwarmingselement van 10 W/m (ter vermijding van condensatie van het aanwezige vocht) wordt het stikstofoxyde/lucht mengsel aangezogen naar een centraal meetpunt. Een NO_x -monitor bepaalt continu het stikstofoxyde gehalte in het luchtmonster. Deze meettechniek heeft als groot voordeel dat het wateroplosbare ammoniak niet dient getransporteerd te worden over lange afstanden waarbij een aanzienlijke fractie in de leidingen zou verloren gaan. De keuze van het stalcompartiment en de lengte van de meetduur wordt softwarematig bepaald en de sturing gebeurt door middel van een 'stream selector'. De NO_x -apparatuur wordt wekelijks geijkt op basis van een gecertificeerd NO/N_2 mengsel. De efficiëntie van de convertoren wordt maandelijks bepaald aan de hand van 40 ppm NH_3 ijkmengsel in lucht.

Het ventilatiedebiet wordt gemeten aan de hand van een vrijdraaiende meetturbine. De nauwkeurigheid van conventionele debietssensoren hangt in hoge mate af van de drukverschillen over de koker waarin de ventilator en de meetturbine gemonteerd zijn. In deze opstelling wordt een verbeterde meetturbine gebruikt die volledig drukonafhankelijk werkt en die nauwkeurigheden haalt van + en - 60 m^3/h bij een statisch drukverschil over het meetsysteem tussen 0 en 120 Pa. Deze meetturbine werd ontwikkeld aan het Labo Agrarische Bouwkunde en de jking gebeurt op een volautomatische ijkinstallatie voor ventilatoren op hetzelfde laboratorium.

In figuur 2 wordt een overzicht getoond van een bestaande meetinstallatie welke in dit onderzoeksproject kan gebruikt worden.

Figuur 2. Meetopstelling van het I.W.O.N.L.-centrum voor onderzoek op ammoniakemissie uit stallen: efficiëntie van de biofilter (Berckmans et al., 1993)

3.4.2. Electronische sensoren

Hoger vermelde meettechniek heeft het voordeel van een hoge nauwkeurigheid, maar als nadeel de zeer hoge kostprijs (ongeveer 2 Mio Bfr per meetpunt), en als dusdanig niet op grote schaal inzetbaar.

Vandaag wordt er echter gewerkt aan verschillende goedkope electronische sensoren om ammoniakconcentraties te meten. Een voorbeeld van een dergelijke sensor is een ontwikkeling die momenteel gebeurt aan het Inter-universitair micro-elektronica centrum (IMEC) in Leuven. De sensor bestaat uit een dikke film metaaloxide halfgeleider vervaardigd met een klassieke zeefdruktechniek op een 96% aluminium substraat. Op dit substraat werd een multi-laag structuur aangebracht bestaande uit een verwarmingselement, een contactlaag, een dielelektrische laag en een gasgevoelige halfgeleiderlaag..

Dergelijke sensoren laten vandaag toe om ammoniakconcentraties onder laboratoriumomstandigheden redelijk nauwkeurig te meten, maar in de praktijk blijken ze ook gevoelig te zijn voor andere gassen, evenals voor vocht. Het gebruik van een combinatie van meerdere sensoren met verschillende gevoeligheid, en de vergelijking ervan met een referentieapparaat (NOx-analyser) biedt echter hoopvolle perspectieven om ook onder praktijkomstandigheden tot nauwkeurige ammoniakbepalingen te komen.

Een bijkomende mogelijkheid bestaat erin om de sensoren slecht gedurende een beperkte tijd (bv. ieder uur 5 s. meten) te gebruiken, en aldus hun levensduur aanzienlijk te verlengen.

3.4.3 Electrochemische sensoren

Recent werden door een aantal firmas ammoniaksensoren geconstrueerd op basis van een electrochemisch meetprincipe (Dräger, CEA Instruments). Deze sensoren werden speciaal ontworpen voor biologische toepassingen en voor gebruik in ruimten met zeer hoog vochtigheidsgehalte. Ze blijken echter niet geschikt voor continue metingen. Gezien echter de ammoniakconcentraties in dierlijke productie-eenheden relatief weinig fluctueren in de loop van de tijd kunnen intermittente metingen volstaan om toch een nauwkeurig beeld te krijgen van de totale ammoniakemissie. Met behulp van de referentiemeettechniek kan de nauwkeurigheid van deze sensoren getest worden en kan de meetfrequentie bepaald worden voor een optimale en langdurige aanwending in praktijkomstandigheden.

3.4.4. Optische meettechniek

Deze meettechniek is gebaseerd op het infra-rood absorptiegedrag van bepaalde gassen (oa. NH_3). Door deze absorptie gaat het gas in een meetcel opgewarmd worden. Door het infrarood licht alternerend aan en uit te schakelen ontstaat er een opwarming en afkoeling van de meetcel, resulterend in een dynamisch drukpatroon. In een bepaalde uitvoering van deze sensoren wordt dit acoustisch signaal b.m.v. microfoons waargenomen, en blijkt recht evenredig te zijn met de concentratie van het gas.

De optische meettechniek combineert het voordeel van betrouwbaarheid met de mogelijkheid tot de analyse van verschillende soorten gassen (bv. CO_2). De relatief hoge prijs van de sensoren staat vandaag echter nog steeds een veralgemeende toepassing ervan in de weg.

3.4.5. De stikstofbalansmethode

De stikstofbalansmethode bestaat erin om de gasvormige uitstoot van stikstofcomponenten te bepalen op basis van een massabalans. Bij een gekende stikstofopname onder de vorm van voeder, en een meetbare stikstofuitscheiding onder de vorm van de mest kan de stikstofvervluchtiging bepaald worden indien de stikstofinhoud van de karkassen bekend is. Deze laatste wordt meestal constant verondersteld.

Op de verschillende meetlokaties zullen daartoe voeder- en mestanalyses uitgevoerd om de stikstofbalans te kunnen toepassen. De experimentele eenheid hierbij is een volledige mestronde (in het groeitraject van 35 tot 100 kg over een periode van ongeveer 100 dagen). Dit gebeurt zowel in een "normale" afdeling, als in de afdeling waarin additieven aan de mest werden toegevoegd. De berekende ammoniakuitstoot wordt vergeleken met de gemeten waarde uit de hoger beschreven referentiemethode.

Deze methode heeft als voordeel dat ze relatief goedkoop is, evenwel de nauwkeurigheid en de praktische haalbaarheid op stalniveau dient in dit project verder onderzocht te worden.

3.5. Korte beschrijving van de geurmetingen

3.5.1. Snuffelploegmetingen

De methode van snuffelploegmetingen benadert de geurproblematiek vanuit immissie-oogpunt. Eén of meerdere geoefende, onafhankelijke waarnemers bepalen in het veld de geurwaarneembaarheid afkomstig van een bepaalde geurbron. Aan de hand van de waargenomen geurdrempelafstand en met kennis van een aantal meteorologische parameters en terreinkarakteristieken kan via een mathematisch verspreidingsmodel de geursterkte van de volledige bron berekend worden. Het voordeel van deze methode is dat alle brononderdelen, zowel geleide als diffuse emissies, samen bekeken worden.

Deze methode vraagt wel een aantal herhalingen om de afwijking op de berekeningen te minimaliseren. Voorgesteld wordt om voor elke stal 10 metingen uit te voeren, telkens met verschillende personen.

3.5.2. Olfactometrie

Deze vorm van sensorische analyse voorziet in de monsternamen in situ van een stalluchtmonster. Dit monster wordt naderhand in het laboratorium in verschillende verdunningen aangeboden aan een panel proefpersonen. Uit deze analyse kan de geurconcentratie (in ge/m^3) afgeleid worden.

Aangezien de menselijke neus als analyse-instrument gebruikt wordt, zijn er relatief belangrijke variaties op de meetwaarden. Twee à drie herhalingen van elke meting zijn noodzakelijk.

Teneinde deze meetmethode te kunnen vergelijken met de snuffelploegmethode dienen telkens monsters genomen te worden voor olfactometrische analyse op het moment dat een snuffelploegmeting uitgevoerd wordt.

3.5.3. Electronische neus

Over het gebruik van de electronische neus als sensor voor het meten van geurconcentraties, is er nog veel onzekerheid. Volgens Hobbs et al. (1995) kan de electronische neus wel goed gebruikt worden om verschillende geuren van elkaar te onderscheiden, doch er bleek slechts een respons op te treden vanaf $60.000 \text{ ge}/\text{m}^3$, wat reeds een hoge concentratie is.

Persaud et al. (1996) besluiten echter uit hun onderzoek dat meting met geleidende polymeer-sensoren een beloftevolle techniek is voor het meten van geuren afkomstig uit de landbouwsector. De intensiteit van het meetsignaal (verandering in weerstand over de sensor) is evenredig met de aangeboden concentratie vluchtige verbindingen. Wel moeten deze metingen, aldus de auteurs, ook verbonden worden aan menselijke respons.

Het is interessant om parallel naast de twee bovenvermelde technieken ook de metingen met de electronische neus uit te voeren om te onderzoeken of het gebruik van een dergelijk toestel enige perspectieven biedt.

3.5.4. Chemische analyses

Waar nodig en/of nuttig zou blijken (vb. bij uittesten werking mestadditief) wordt de mogelijkheid voorzien om chemische analyses van omgevingslucht of mestvocht uit te voeren. Deze analyses gebeuren met behulp van een GC-MS toestel. Dit apparaat bestaat uit een gaschromatograaf (GC) met een vlamionisatiedetector gekoppeld aan een massaspectrometer (MS). Door injectie van het monster in de GC worden de verschillende aanwezige vluchtige organische verbindingen gescheiden

en gekwantificeerd. De massaspectrometer zorgt voor een identificatie van de aanwezige verbindingen. Zo kan een balans opgesteld worden van de aanwezige verbindingen en hun respectievelijke concentraties.

4. Referenties

Anonymus, 1981. Nationaal Onderzoeks- en Ontwikkelingsprogramma op het gebied van Leefmilieu Lucht, 1978-81, Vol. 18C, Dienst Programmatie Wetenschapsbeleid.

Asman, W. A. H. and Drukker, B. 1988. Modelled historical concentrations and depositions of ammonia and ammonium in Europe. *Atmospheric Environment*. 22 (4). pp.725-735.

Anonymus, 1984. Info-Leefmilieu, 1984/1. pp. 9-15.

Anonymus, 1990. Plan van Aanpak beperking ammoniakemissie van de landbouw, Tweede Kamer Nederland, vergaderjaar 1990-1991, 18 255, nr. 42. SDU uitgeverij s'Gravenhage, Nederland.

Asman, W. A. H. and Janssen, A. J. 1987. A long-range transport model for ammonia and ammonium for Europe. *Atmospheric Environment*, 21 (10). pp.2099-2119.

Buijsman, E. and Erisman, J.-W. 1988. Wet deposition of ammonium in Europe. *Journal of Atmospheric Chemistry*. (6). pp.265-280.

Buijsman, E., Maas, H. F. M. and Asman, W. A. H. 1987. Anthropogenic NH₃ emissions in Europe. *Atmospheric Environment*. 21 (5). pp.1009-1022.

Carr, L. E., Wheaton, F. W. and Douglass, L. W. 1990. Empirical models to determine ammonia concentrations from broiler chicken litter. *Transactions of the ASAE*. 33 (4). pp.1337-1342.

Dams R., Moens L. en P. Roos, 1996 Verzuring. In "Leren om te keren, Milieu- en Natuurrapport Vlaanderen" uitgegeven door de Vlaamse MilieuMaatschappij. p.429-436

Kretzschmar J.G. 1984, Luchtverontreinigingsproblematiek in het kader van een M.E.R.: theorie en praktijk, Vlaams Technisch 15-11-84. 36p.

Roelofs, J. G. M. and Houdijk, A. L. F.M. 1991. Ecological effects of ammonia. V. C. Nielsen, J. H. Voorburg and P. L'Hermite (Eds.), *Odour and ammonia emission from livestock farming*. Silsoe, UK. London and New York: Elsevier Applied Science. pp. 10-16.

Vanacker L., De Baene L., Macharies M. 1988. De mestproblematiek in Vlaanderen, OVAM, Rapport nr. 1, D/1988/5024/13. 69p.

Verstegen, M.W.A., Van der Hell W., Jongebruer A.A., Enneman G., 1976. The influence of ammonia and humidity on activity and energy balance data in groups of pigs. *Zeitschrift fur Tierphysiologie. Tierernahrung und Futtermittelkunde*, band 37; 5. pp. 255-263.