



Ammoniakemissie bij het uitrijden van vaste mest

Deskstudie

J.F.M. Huijsmans, J. Mosquera & J.M.G. Hol





Ammoniakemissie bij het uitrijden van vaste mest

Deskstudie

J.F.M. Huijsmans¹, J. Mosquera² & J.M.G. Hol²

¹ Plant Research International B.V.

² Animal Sciences Group

© 2007 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 25 per exemplaar.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
1. Inleiding	3
2. Mestproductie	5
2.1 Nederland	5
2.2 Europa	7
3. Mestsamenstelling	9
4. Ammoniakemissies (Nederland)	11
5. Ammoniakemissies (internationaal)	13
6. Discussie, conclusies en aanbevelingen	17
Literatuur	19

Voorwoord

Emissiegegevens bij het uitrijden van mest zijn binnen het beleid geheel gebaseerd op de metingen met vloeibare dierlijke mest. Het is de vraag of het terecht is om de emissiefactoren voor vloeibare mest ook van toepassing te laten zijn voor vaste mest. In Nederland komt steeds meer vaste mest beschikbaar en daarom is inzicht nodig in de emissies die optreden bij het uitrijden van deze vaste mest. In opdracht van het ministerie van LNV is een deskstudie uitgevoerd om een beter beeld van de emissie bij het uitrijden van vaste mest te krijgen.

1. Inleiding

Bij het uitrijden van dierlijke mest vindt emissie van ammoniak plaats. Voornamelijk eind vorige eeuw hebben veel metingen plaatsgevonden waarin de ammoniakemissie werd bepaald bij bovengronds breedwerpig toedienen van mest en emissiearme mesttoediening. Deze metingen werden uitgevoerd op gras- en bouwland en hoofdzakelijk bij gebruik van vloeibare dierlijke mest. Vaste dierlijke mest kan (vooralsnog) op grasland niet emissiearm worden toegediend. Op bouwland kan emissiereductie bereikt worden door de mest na bovengronds verspreiden in te werken. Emissiegegevens bij het uitrijden van mest zijn binnen het beleid (emissiefactoren ammoniak, N-werkingscoëfficiënt) geheel gebaseerd op de metingen met vloeibare dierlijke mest. Hierbij zijn de emissiefactoren (% van de $\text{NH}_4\text{-N}$ gift) en emissiereducties, zoals gemeten bij vloeibare mest ook toegepast voor vaste mest, uitgaande van 'standaard' mest samenstellingen van de vaste mest. Het is de vraag of het terecht is om de emissiefactoren voor vloeibare mest ook van toepassing te laten zijn voor vaste mest. Daarnaast komt steeds meer vaste mest beschikbaar in Nederland en is inzicht nodig in de emissies die optreden bij het uitrijden van deze vaste mest. Om een beter beeld van de emissie bij het uitrijden van vaste mest te krijgen is een deskstudie uitgevoerd.

Doel van deze deskstudie is in eerste instantie informatie verzamelen (nationaal en internationaal) en literatuur samenvatten over de optredende ammoniakemissie bij het uitrijden van vaste dierlijke mest. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar verschillende soorten vaste dierlijke mest (varkens, runder, kippen), de mest samenstelling en de toepassing (grasland, bouwland, techniek).

2. Mestproductie

2.1 Nederland

De mestproductie in Nederland is sinds 1995 sterk afgenomen, van $79,3 \cdot 10^9$ tot $66,8 \cdot 10^9$ kg in 2004 (Figuur 1; <http://statline.cbs.nl>). Mest van varkens, rundvee, schapen en geiten wordt uitgescheiden als faeces en urine, bij pluimvee als één mestvorm. Het CBS maakt onderscheid in de productie van dunne en vaste mest.

Onder dunne mest wordt verstaan:

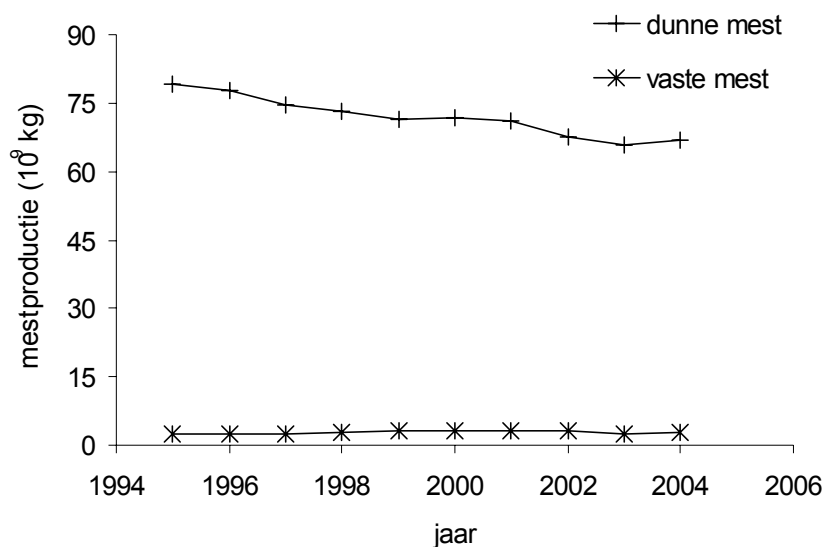
- weidemest (faeces en urine) van rundvee, schapen en geiten;
- stalrest (faeces en urine) van rundvee die wordt geproduceerd in stallen (exclusief zoog-, mest- en weidekoeien);
- alle mest die door varkens wordt geproduceerd (stromest stalsystemen worden niet onderscheiden);
- stalrest van leghennen die als natte mest wordt opgeslagen.

Onder vaste mest wordt verstaan:

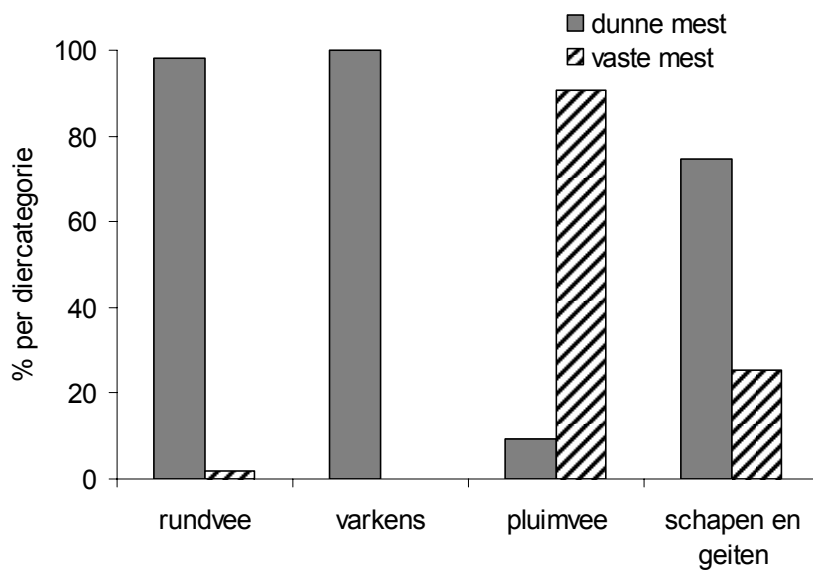
- stalrest (faeces, urine en strooisel) van schapen en geiten;
- stalrest (faeces, urine en strooisel) van zoog-, mest- en weidekoeien;
- stalrest van pluimvee (inclusief strooisel).

Een groot deel van de mest die in Nederland wordt geproduceerd is dunne mest. Dit geldt vooral voor varkens en rundvee, en in mindere mate voor schapen en geiten (Figuur 2; <http://statline.cbs.nl>). Voor pluimvee is bijna alle geproduceerde mest vast. De legbatterijsystemen voor leghennen met natte mestopslag zijn in de loop der jaren sterk verminderd en zullen in de toekomst geheel verdwijnen.

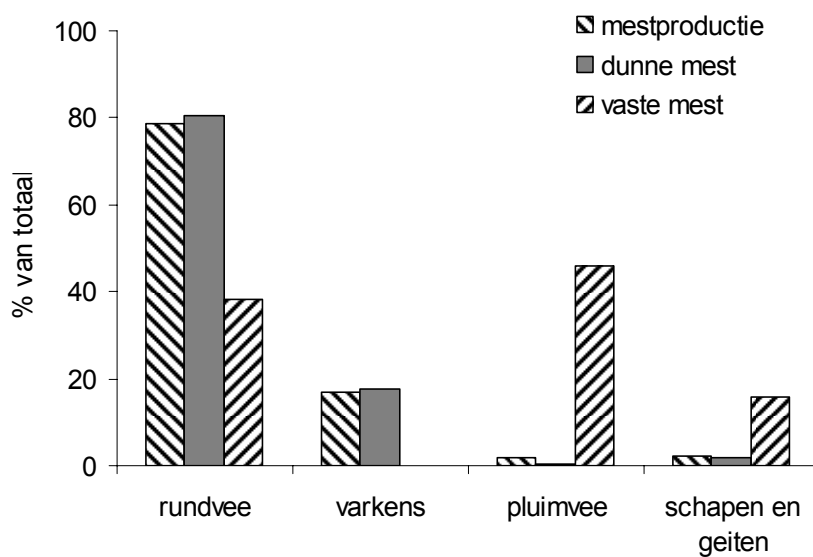
Rundvee draagt het meeste bij aan de totale mestproductie in Nederland. In 2004 was 79% van alle geproduceerde mest afkomstig van rundvee (Figuur 3, <http://statline.cbs.nl>), 17% van varkens en de rest van pluimvee, schapen en geiten. Rundvee is, met 80% van de totale productie, de belangrijkste bron van dunne mest in Nederland. Varkens dragen ook bij aan de productie van dunne mest (18%), terwijl de contributie van pluimvee, schapen en geiten bijna verwaarloosbaar is. Voor vaste mest is pluimvee, met een bijdrage van 46%, de belangrijkste speler. De relatieve bijdrage van rundvee aan de productie van vaste mest (38%) is ook groot.



Figuur 1. Mestproductie in Nederland. Bron: <http://statline.cbs.nl>.



Figuur 2. Percentage (per diercategorie) van de mest die als dunne of vaste mest in 2004 in Nederland werd geproduceerd. Bron: <http://statline.cbs.nl>.



Figuur 3. Bijdrage (%) van elk diercategorie aan de productie van vaste mest, dunne mest, en totale mestproductie in Nederland (2004). Bron: <http://statline.cbs.nl>.

2.2 Europa

De verhouding vaste mest/dunne mest varieert enorm tussen verschillende Europese landen. Uit onderzoek van Menzi (2002) blijkt dat vaste mest de belangrijkste mestsoort is voor Estland, Frankrijk, Hongarije, Letland, Litouwen, Oekraïne, Polen en de UK. In deze landen is meer dan 50% van de geproduceerde mest vast. De bijdrage van vaste mest aan de totale mestproductie is laag voor Denemarken, Duitsland, Finland, Ierland, Noorwegen, Oostenrijk, Portugal, Slovenië, Spanje, Zweden en Zwitserland (20-35%), en zeer laag voor Nederland (<5%), België (5-20%) en Wit-Rusland (5-20%).

Het onderzoek van Menzi (2002) laat zien dat voor rundvee de bijdrage van vaste mest aan de totale mestproductie hoog (>50%) is voor Estland, Frankrijk, Griekenland, Hongarije, Italië, Letland, Litouwen, Oekraïne, Polen, Slowakije, Tsjechië, en de UK, laag (20-35%) voor Duitsland, Oostenrijk, Portugal, Slovenië en Zwitserland, en zeer laag voor Nederland (<5%), België (5-20%) en Wit-Rusland (5-20%). Voor varkens is het aandeel vaste mest alleen belangrijk (>35%) voor Estland, Hongarije, Letland, Noorwegen, Oekraïne, Polen en Slovenië. Vaste mest is de belangrijkste mestsoort voor pluimvee in alle Europese landen (Menzi, 2002).

3. Mestsamenstelling

De samenstelling van mest is een belangrijke factor die de uitstoot van NH_3 na mesttoediening en weidegang kan beïnvloeden. Vooral het drogestofgehalte, pH, en de gehalten aan $\text{NH}_4^+\text{-N}$ en totaal-N zijn van belang. Hoe hoger de gehalten aan $\text{NH}_4^+\text{-N}$ en totaal-N, hoe groter de kans dat de uitstoot van NH_3 hoog is. Een hogere pH leidt tot een verschuiving van het evenwicht tussen $\text{NH}_4^+\text{-N}$ en NH_3 naar NH_3 , waardoor NH_3 -emissies hoger zouden kunnen zijn. Een hoger drogestofgehalte resulteert in een hogere viscositeit, waardoor de mest moeilijker in de grond infiltreert en de kans groter is dat de mest langer in contact met de lucht blijft na mesttoediening. Dit kan ook tot hogere NH_3 -emissies leiden. In Tabellen 1 en 2 wordt de (gemiddelde) mestsamenstelling van dunne en vaste mest in respectievelijk Nederland en Europa gegeven. In de brochure 'Mestbeleid 2006: tabellen' van het ministerie van LNV worden voor Nederland per diersoort de forfaitaire gehalten aan totale stikstof (N-totaal) per ton mest weergegeven. Echter, informatie over de gehalten aan N-mineraal en drogestof ontbreekt. In het 'Advies bemestingen grasland en voedergrassen' (ASG, 2005) wordt naast N-totaal ook N mineraal gegeven.

Tabel 1. Samenstelling van dunne en vaste mest in Nederland die gebruikt wordt voor bemesting dus exclusief de weidemest (per diercategorie). Bronnen: Adviesbasis bemestingen grasland en voedergrassen (Animal Sciences Group, 2005); Mestbeleid 2006: tabellen (LNV, 2006).

Mest	Diercategorie	LNV (2006)	Adviesbasis bemestingen		
			N-totaal [g kg ⁻¹]	Drogestof [g kg ⁻¹]	N-totaal [g kg ⁻¹]
Dunne mest	Rundvee	4,5	86	4,4	2,2
	Vleeskalveren	3,0; 4,7 ⁽³⁾	20	3,0	2,4
	Vleesvarkens	7,0	90	7,2	4,2
	Zeugen	5,8	55	4,2	2,5
	Kippen	10,4	145	10,2	5,8
	Geiten	8,1			
	Eenden	6,2			
Vaste mest	Rundvee grupstal	7,1	248	6,4	1,2
	Vleesvarkens (stro)	8,2	230	7,5	1,5
	Leghennen ⁽¹⁾	25,7	515	24,1	2,4
	Kippenmest (strooisel)	22,9	640	19,1	8,6
	Vleeskuikens	32,6	605	30,5	5,5
	Vleeskuikenouderdieren ⁽²⁾		610	19,0	-
	Vleeskalkoenen	23,1	565	24,7	6,4
	Eenden	8,9	265	8,3	1,7
	Schape	8,3	290	8,6	2,0
	Geiten	9,6	265	8,5	2,6
Overig	Champost	21,0 ⁽⁴⁾	350	5,8	0,3
	GFT-compost		650	8,5	0,8

⁽¹⁾ Mestbandbatterij met geforceerde droging zonder nadroging.

⁽²⁾ Gedeeltelijke roostervloer.

⁽³⁾ Witvlees; Rosevlees.

⁽⁴⁾ Per ton drogestof.

In Tabel 1 wordt met dunne mest de vloeibare mest uit de stal bedoeld. Dit is altijd een mengsel van faeces en urine, behalve bij kippen (leghennen; ongedroogde (natte) mest). Het verschil tussen dunne en vaste mest is het drogestofgehalte. Dit is voor vaste mest hoger. De verhouding tussen N-totaal en N-mineraal bij dunne mest is *ca.* 1,7:1, terwijl de verhouding bij vaste mest *ca.* 5:1 is. Bovendien is de variatie bij vaste mest veel groter (2:1 tot 10:1). Tabel 2 geeft (voor Europa) hetzelfde beeld over de mest samenstelling en de verhouding in de mest tussen N-totaal en N-mineraal.

Tabel 2. Samenstelling van dunne en vaste mest in Europa. Bron: Menzi (2002).

Mest	Diercategorie	Drogestof [g kg ⁻¹]	N-totaal [g kg ⁻¹]	N-mineraal [g kg ⁻¹]
Dunne mest	Rundvee	67 [15-123]	4,0 [2,0-7,0]	2,3 [1,0-4,9]
	Varkens	52 [15-92]	4,8 [1,2-8,2]	3,4 [1,9-6,1]
	Pluimvee	170 [10-300]	11,2 [2,0-18,0]	5,3 [1,9-7,8]
Vaste mest	Rundvee	207 [140-300]	5,2 [2,9-8,1]	1,4 [0,3-3,2]
	Varkens	238 [150-330]	6,8 [3,5-11,0]	2,2 [0,5-6,0]
	Pluimvee	455 [200-700]	22,5 [10,0-58,0]	6,2 [2,4-18,0]

4. Ammoniakemissies (Nederland)

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd van metingen van de ammoniakemissie na toediening van vaste mest in Nederland. Het aantal studies naar de NH_3 -emissie na uitrijden van vaste mestsoorten in Nederland is beperkt. Het onderzoek is fragmentarisch uitgevoerd, waardoor alleen op zich staande enkelvoudige metingen beschikbaar zijn. Eerst worden de afzonderlijke rapportages kort besproken, waarna de resultaten per diercategorie in Tabel 3 tot en met 5 worden samengevat.

Bruins & Huijsmans (1989) vergeleken de ammoniakemissie na toediening op bouwland van de vaste en vloeibare fractie van varkensmest en van twee dunne varkensmesten. De gemeten emissie was bij de bovengrondse toediening van de vloeibare fractie 8% van de $\text{NH}_4\text{-N}$ gift, bij de vaste fractie 34% en bij de dunne mestsoorten 37%. De emissie van de vaste fractie was vergelijkbaar met die van de dunne mestsoorten.

Bruins (1991) onderzocht de ammoniakemissie na het uitrijden van verschillende mestsoorten op bouwland. De emissie van de uitgereden droge slachtkuiken- en mestbandgedroogde mest (*ca.* 70% ds) was respectievelijk 24% en 21% van de toegediende $\text{NH}_4\text{-N}$. De emissie van de niet gedroogde mest (10-14% ds) van de mestband en natte kippenmest was respectievelijk 46% en 36% van de toegediende $\text{NH}_4\text{-N}$.

Hol (1990) herhaalde het experiment van Bruins (1991). De ammoniakemissie werd gemeten van droge slachtkuikenmest, droge kippenmest en natte kippenmest na toediening op bouwland. De ammoniakemissie was 11% van de TAN gift (Total Ammoniacal Nitrogen gift of $\text{NH}_4\text{-N}$ gift) bij de vaste mesten en 30% bij de natte kippenmest.

Bruins en Hol (1990) vergeleken de emissie van verschillende varkensmestsoorten na toediening op grasland en bouwland. Bij de toediening op grasland was de emissie 52% van TAN bij de vaste mest, 96% bij de gier en 42-73% bij de dunne varkensmengmesten. In het experiment op bouwland werd een emissie gemeten van 28-39% van TAN bij de vaste mest en 35% bij de dunne mengmest. Uit deze experimenten bleek geen duidelijk verschil in het emissiepercentage tussen de vaste en vloeibare mestsoorten.

Mulder & Huijsmans (1994) rapporteren over verschillende metingen waarbij vaste mestsoorten worden toegediend op gras- en bouwland. Op grasland werd na het toedienen van vaste rundermest uit een grupstal een ammoniakemissie gemeten van 46% van TAN. In een ander experiment op grasland (andere omstandigheden) gaf één jaar oude potstalmest een emissie van 69-75% van TAN en bij verse potstalmest vervluchtigde alle aanwezige ammonium (100% van TAN). Zij vonden dat de emissie (% $\text{NH}_4\text{-N}$ gift) van de vaste mestsoorten lager of gelijkwaardig was dan de emissie van dunne rundermest.

Op bouwland werd door Mulder & Huijsmans (1994) de emissie gemeten van dunne rundermest, potstalmest (één jaar oud) en gecomposteerde potstalmest. De emissie van bovengronds verspreide potstalmest was met 43% van TAN even hoog als de emissie van de referentie (dunne rundermest, 44% van TAN). Het onderwerken met een vastetandcultivator gaf geen reductie. Door de relatief weinig intensieve bewerking werden de kluiten vaste mest maar deels ondergewerkt en deels in kleinere stukken verdeeld; het netto-effect op de emissie was nihil. De gecomposteerde mest was gedurende de opslag zodanig van samenstelling veranderd dat deze moeilijk kon worden vergeleken met de potstalmest. Opvallend was het lage ammoniumstikstofgehalte in de compost, wat waarschijnlijk door vervluchtiging tijdens opslag werd veroorzaakt. Uit de gecomposteerde mest emitterde driekwart van de aanwezige ammoniumstikstof. Vanwege de grote spreiding in de mestmonsters mag worden aangenomen dat vrijwel alle ammoniumstikstof uit de compost verdween. Doordat de meeste stikstof in andere vorm dan ammoniumstikstof in de compost voorkwam (gemiddeld 99%), was de emissie uitgedrukt als percentage van de toegediende hoeveelheid totaalstikstof veel lager. Dit gold in mindere mate voor de potstalmest.

Op bouwland werd door Mulder & Huijsmans (1994) ook de emissie gemeten na toedienen van verschillende kippenmestsoorten, waarbij ook de emissie van gedroogde kippenmestkorrels werd gemeten. De gedroogde kippenmesten gaven een emissie van 18 tot 26% en de mestkorrels een emissie van 17% van TAN. De emissie na boven-

grondse toediening van dunne kippenmest was 39%. Met behulp van tunnels werd de ammoniakemissie van gedroogde kippenmest en kippenmestkorrels vergeleken met de emissie van dunne kippenmest. De emissie van de korrels was even hoog als de emissie van gedroogde kippenmest. Beide emissiepercentages waren lager dan de emissie van dunne kippenmest. Het drogen van kippenmest bleek effectief te zijn om de emissie te verminderen. In een ander experiment werd het effect van onderwerken van droge kippenmest gemeten. Niet onderwerken van droge kippenmest gaf een ammoniakemissie van 22%. Onderwerken van de mest met een cultivator, ploeg of frees resulteerde in een ammoniakemissie van minder dan 4% van TAN.

Tabel 3. *Overzicht van NH₃-emissies na uitrijden van vaste mest (rundvee).*

	% NH ₄ ⁺ -N	Mestsoort	Grond	Toedieningstechniek	Meetdagen
Mulder & Huijsmans (1993)	46	grupstal	grasland	bovengronds	4
Mulder & Huijsmans (1993)	69	potstal (na opslag)	grasland	bovengronds	4
Mulder & Huijsmans (1993)	75	potstal (na opslag)	grasland	bovengronds	4
Mulder & Huijsmans (1993)	>100	potstal (vers)	grasland	bovengronds	4
Mulder & Huijsmans (1993)	43	potstal (vers)	bouwland	bovengronds	4
Mulder & Huijsmans (1993)	43	potstal (vers)	bouwland	bovengronds en direct onderwerken	4
Mulder & Huijsmans (1993)	76	potstal (na opslag)	bouwland	bovengronds	4

Tabel 4. *Overzicht van NH₃-emissies na uitrijden van vaste mest (varkens).*

	% NH ₄ ⁺ -N	Mestsoort	Grond	Toedieningstechniek	Meetdagen
Bruins & Huijsmans (1989)	34	vleesvarkens	bouwland	bovengronds	3
Bruins & Hol (1990)	52	vleesvarkens	grasland	bovengronds	4
Bruins & Hol (1990)	28	vleesvarkens	bouwland	bovengronds	4
Bruins & Hol (1990)	39	vleesvarkens	bouwland	bovengronds	4

Tabel 5. *Overzicht van NH₃-emissies na uitrijden van vaste mest (pluimvee).*

	% NH ₄ ⁺ -N	Mestsoort	Grond	Toedieningstechniek	Meetdagen
Mulder & Huijsmans (1993)	18	legghennen*	bouwland	bovengronds	4
Mulder & Huijsmans (1993)	26	vleeskuikens	bouwland	bovengronds	4
Mulder & Huijsmans (1993)	17	Vefinexkorrels	bouwland	bovengronds	4
Mulder & Huijsmans (1993)	22	legghennen*	bouwland	bovengronds	4
Mulder & Huijsmans (1993)	4	legghennen*	bouwland	bovengronds en direct onderwerken	4
Mulder & Huijsmans (1993)	1	legghennen*	bouwland	bovengronds en direct onderwerken	4
Mulder & Huijsmans (1993)	4	legghennen*	bouwland	bovengronds en direct onderwerken	4
Bruins (1991)	24	vleeskuikens	bouwland	bovengronds	4
Bruins (1991)	21	legghennen*	bouwland	bovengronds	4
Hol (1990)	11	vleeskuikens	bouwland	bovengronds	4
Hol (1990)	11	legghennen*	bouwland	bovengronds	4

* *Mestbanddroging.*

5. Ammoniakemissies (internationaal)

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd van een literatuurstudie die werd uitgevoerd om een overzicht te geven van de gemeten NH_3 -emissies na toediening van vaste mest op internationaal niveau. Eerst worden alle onderzochte referenties individueel besproken (welke experimenten zijn uitgevoerd, hoe hoog/laag waren de gemeten NH_3 -emissies na toediening van vaste mest). Daarna worden deze resultaten per diercategorie in tabellen (Tabel 6-8) samengevat.

Het aantal studies waarbij de NH_3 -emissie na toediening van meerdere mestsoorten (afkomstig uit verschillende diercategorieën; dunne vs. vaste mest) wordt gemeten, is vrij beperkt, en de resultaten zijn niet altijd consistent. Lockyer *et al.* (1989) beschreven vier experimenten die uitgevoerd waren om de emissie van NH_3 na het toedienen van verschillende mestsoorten (dunne vs. vaste mest; varkens vs. melkvee vs. pluimvee) te meten. Ze vonden hogere NH_3 verliezen uit varkensdrijfmest (36-78% van $\text{NH}_4^+\text{-N}$) dan uit runderdrijfmest (41% van $\text{NH}_4^+\text{-N}$). De hoogste emissies (83% van $\text{NH}_4^+\text{-N}$) werden echter uit pluimvee drijfmest gemeten, en de laagste emissies (21% van $\text{NH}_4^+\text{-N}$) uit vaste mest (pluimvee leghennen, droging van mest). In het onderzoek van Sommer en Christensen (1990) werden NH_3 emissies gemeten na bovengronds uitrijden van vaste mest uit rundvee- en varkenshouderijen. De emissies waren wat hoger na toediening van varkensmest (44% van het toegediende $\text{NH}_4^+\text{-N}$) t.o.v. rundveemest (37% van het toegediende $\text{NH}_4^+\text{-N}$).

Chambers *et al.* (1997) vonden NH_3 verliezen na het uitrijden van vaste mest (pluimvee) op bouwland, die varieerden tussen 15-46% van het toegediende $\text{NH}_4^+\text{-N}$. Vergelijkbare emissies werden gemeten na uitrijden van vaste mest afkomstig uit rundveehouderijen (30% van het toegediende $\text{NH}_4^+\text{-N}$). Vaste mest uit varkenshouderijen emitteerde het meest (73-89% van het toegediende $\text{NH}_4^+\text{-N}$). In Menzi *et al.* (1997) was de gemeten NH_3 emissie (over een periode van vier dagen) na bovengrondse toediening van vaste mest 19% van de totaal toegediende stikstof voor leghennen, en 3% voor vleeskuikens. Hoge emissies (59% van het toegediende $\text{NH}_4^+\text{-N}$) werden ook na uitrijden van vaste mest uit rundveehouderijen gemeten. Deze emissies waren gemiddeld 30% hoger dan uit dunne mest.

Door Misselbrook en Hansen (2001) werden de hoogste (absolute) emissies gemeten na het toedienen van urea (met de hoogste mestgift) op grasland. Uitgedrukt als % van toegediende N was de emissie uit vaste mest van varkenshouderijen (42%) de hoogste van alle drie mestsoorten (urea, runderdrijfmest, vaste mest varkens). NH_3 -emissies uit urea en drijfmest (11% en 15% van toegediende N) waren vergelijkbaar. Nadeel van dit onderzoek is dat de experimenten niet gelijktijdig, met verschillende mestgiften, en in verschillende landen werden uitgevoerd.

Misselbrook *et al.* (2005a) gebruikten drie verschillende mestsoorten (varkens- en runderdrijfmest, en vaste mest uit melkveehouderijen) op twee grasland locaties, en twee soorten vaste mest (varkens en pluimvee) op vier bouwland locaties voor hun onderzoek. Op grasland was het absoluut NH_3 verlies het hoogst na het uitrijden van varkensdrijfmest, en het laagst na het uitrijden van vaste mest (melkvee). Uitgedrukt als % van toegediende TAN was de emissie uit vaste mest (melkvee) de hoogste (soms >100% TAN) van alle drie mestsoorten. Op bouwland was het absoluut NH_3 verlies het hoogst na het uitrijden van vaste mest (pluimvee). Uitgedrukt als % van toegediende TAN was de emissie uit vaste mest (varkens) de hoogste. Door Misselbrook *et al.* (2005b) werden NH_3 emissies gemeten na toediening van runderdrijfmest en drie soorten vaste mest (melkvee, pluimvee, en pluimvee+beregening). De hoogste (absolute) NH_3 emissies werden na het uitrijden van vaste mest (pluimvee) gemeten. Uitgedrukt als % van toegediende UAN (ureum en $\text{NH}_4^+\text{-N}$) waren de emissies uit runderdrijfmest en vaste mest (melkvee) het hoogst.

Lauer *et al.* (1976) vonden hoge NH_3 verliezen (61-99% van het toegediende $\text{NH}_4^+\text{-N}$) na uitrijden van vaste mest (melkvee) met een drogestofgehalte van ~20%. Malgeryd (1998) beschreef een experiment waarbij de emissie van NH_3 na toediening van dunne en vaste mest uit melkveehouderijen op bouwland werd gemeten. Toediening van dunne mest gebeurde twee dagen vóór (met of zonder onderwerken van de mest binnen 4 uur na toediening) en een dag na grondbewerking in de lente. Voor vaste mest gebeurde de toediening een dag vóór (met of zonder onderwerken van de mest binnen 4 uur na toediening) en twee dagen na grondbewerking in de lente. Na toediening van vaste mest vóór grondbewerking (zonder onderwerking van de mest) waren de NH_3 emissies uit de vaste mest

aanzienlijk hoger (34% vs. 7% van toegediende N-totaal) dan uit de dunne mest. Na onderwerking, lage emissies (3-4% van toegediende N-totaal) werden gemeten voor zowel dunne als vaste mest. Toediening na grondbewerking resulteerde in lagere NH_3 emissies uit de vaste mest (18% vs. 34% uit de dunne mest). Deze lagere emissies uit de vaste mest werden toegewezen aan een (mogelijke) vervluchtiging van NH_3 uit de opgeslagen mest tussen beide perioden. Dit kon echter niet worden gecontroleerd, aangezien geen gegevens beschikbaar waren van de mest-samenstelling vóór toediening na grondbewerking.

Door Amon *et al.* (2001) werden geen NH_3 emissies gedetecteerd na het toedienen van aerobisch gecomposteerde mest zowel in de zomer als in de winter. Dit werd verklaard door de hoge NH_3 verlies tijdens opslag, waardoor op het einde van de opslagperiode geen $\text{NH}_4^+\text{-N}$ beschikbaar was om NH_3 te produceren. Emissies waren hoog (respectievelijk 2,8 en 5,74 kg NH_3 ha⁻¹ voor de zomer- en de wintermetingen; de mestsamenstelling op het einde van de opslagperiode is niet gerapporteerd) na het uitrijden van anaerobisch opgestapelde mest. Ongeveer 34% van de totale NH_3 emissies (uit mestopslag en toediening van anaerobisch opgestapelde mest) in de zomer en 81% in de winter, waren veroorzaakt door de emissies na mesttoediening.

In een laboratoriumproef met vaste mest (vleeskuikens) met 18 verschillende mestsamenstellingen (Schilke-Gartley en Sims, 1993) varieerden de emissies na toediening op braakland tussen 4-31% van de totaal toegediende stikstof. Ongeveer 61% van de emissies werden in de eerste 3 dagen gemeten. Vergelijkbare emissies werden door Kirchmann en Witter (1989) en Wolf *et al.* (1987) gerapporteerd (respectievelijk 9-44% en 37% van de totaal toegediende stikstof) in laboratoriumproeven met toediening van vaste mest (vleeskuikens) op braakland.

In een 2-jarig proefopzet op drie verschillende graslandlocaties varieerden de NH_3 emissies tussen 1,7-6,4% van de totaal toegediende stikstof (Marshall *et al.*, 2001). Deze resultaten zijn vergelijkbaar met die van Marshall *et al.* (1998), die vonden dat NH_3 verliezen na bovengronds uitrijden van vaste mest (pluimvee) op grasland gemiddeld 7% van de totaal toegediende stikstof (28-46% van het toegediende $\text{NH}_4^+\text{-N}$) waren. Vergelijkbare waarden (22,5-27,6% van het toegediende $\text{NH}_4^+\text{-N}$) werden door Cabrera *et al.* (1994) gerapporteerd na bovengrondse uitrijden van vaste mest (vleeskuikens). Door Nathan en Malzer (1994) werden NH_3 emissies van 2% van het toegediende $\text{NH}_4^+\text{-N}$ gemeten na toediening van vaste (kalkoenen) mest.

Rodhe en Karlsson (2002) vonden emissies van ongeveer 13,5% van het totale toegediende N (39,1% van de toegediende $\text{NH}_4^+\text{-N}$) na bovengronds uitrijden (zonder onderwerken) van vaste mest (vleeskuikens), en 7,5% van het totale toegediende N (21,8% van de toegediende $\text{NH}_4^+\text{-N}$) na mesttoediening en direct onderwerken van de mest. De verschillen waren echter niet significant. Sharpe *et al.* (2004) vonden NH_3 verliezen na bovengrondse toediening van vaste mest (pluimvee) op bouwland die varieerden tussen 4-24% van de totaal toegediende stikstof. Geen significant lagere NH_3 emissies werden gevonden wanneer de mest werd ondergewerkt tot een diepte van 30-40 cm. Nicholson *et al.* (2004) vonden geen significant verschil in NH_3 emissie na toediening van vaste mest uit verschillende managementsystemen voor vleeskuikens. De totale emissie varieerde tussen 46-92% (gemiddeld 63%) van het toegediende UAN (ureum en $\text{NH}_4^+\text{-N}$). Voor leghennen werd ook geen significant verschil in NH_3 emissie gevonden tussen managementsystemen na toediening van de mest: de totale emissie varieerde tussen 67-118% van het toegediende UAN.

Tabel 6. Overzicht van NH₃ emissies na uitrijden van vaste mest (rundvee).

	kg NH ₃ -N ha ⁻¹	NH ₃ -emissie		Land	Grond	Toedieningstechniek	Meetdagen
		% NH ₄ ⁺ -N	% N-totaal				
Amon <i>et al.</i> (2001)	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	grasland	bovengronds	80
Amon <i>et al.</i> (2001)	0,0	n.b.	n.b.	n.b.	grasland	bovengronds	80
Amon <i>et al.</i> (2001)	2,8	n.b.	n.b.	n.b.	grasland	bovengronds	80
Amon <i>et al.</i> (2001)	5,7	n.b.	n.b.	n.b.	grasland	bovengronds	80
Misselbrook <i>et al.</i> (2005a)	n.b.	n.b.	n.b.	UK	grasland	bovengronds	12
Misselbrook <i>et al.</i> (2005b)	n.b.	69 ⁽¹⁾	n.b.	UK	n.b.	n.b.	5
Malgeryd (1998)	n.b.	n.b.	34	Zweden	bouwland	bovengronds ⁽²⁾	3
Malgeryd (1998)	n.b.	n.b.	4	Zweden	bouwland	bovengronds ⁽²⁾ + ondergewerkt ⁽³⁾	3
Malgeryd (1998)	n.b.	n.b.	18	Zweden	bouwland	bovengronds	6
Chambers <i>et al.</i> (1997)	7,1	30	4	UK	bouwland	n.b.	18
Menzi <i>et al.</i> (1997)	n.b.	59	n.b.	Zwitserland	grasland	bovengronds	4
Lauer <i>et al.</i> (1976)	n.b.	61-99	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sommer & Christensen (1990)	n.b.	37	n.b.	n.b.	n.b.	bovengronds	>6

⁽¹⁾ % UAN.

⁽²⁾ Voor vaste mest, 2 dagen vóór onderwerken; voor dunne mest, 1 dag vóór onderwerken.

⁽³⁾ Voor vaste mest, 1 dag na onderwerken; voor dunne mest, 2 dagen na onderwerken.

Tabel 7. Overzicht van NH₃ emissies na uitrijden van vaste mest (varkens).

	kg NH ₃ -N ha ⁻¹	NH ₃ -emissie		Land	Grond	Toedieningstechniek	Meetdagen
		% NH ₄ ⁺ -N	% N-totaal				
Misselbrook & Hansen (2001)	1,7	n.b.	n.b.	Denemarken	grasland	'band'spreading	6
Misselbrook & Hansen (2001)	2,2	n.b.	n.b.	Denemarken	grasland	'band'spreading	6
Misselbrook <i>et al.</i> (2005a)	n.b.	n.b.	n.b.	UK	bouwland	bovengronds	12
Chambers <i>et al.</i> (1997)	35,0	73	13	UK	bouwland	n.b.	9
Chambers <i>et al.</i> (1997)	35,4	89	23	UK	bouwland	n.b.	9
Sommer & Christensen (1990)	n.b.	44	n.b.	n.b.	n.b.	bovengronds	>6
Sommer & Christensen (1990)	n.b.	19	n.b.	n.b.	n.b.	bovengronds + ondergewerkt	>6
Sommer & Christensen (1990)	n.b.	18	n.b.	n.b.	n.b.	bovengronds + beregenen	>6

Tabel 8. Overzicht van NH₃ emissies na uitrijden van vaste mest (pluimvee).

	kg NH ₃ -N ha ⁻¹		NH ₃ -emissie		Land	Grond	Toedieningstechniek	Meetdagen
			% NH ₄ ⁺ -N	% N-totaal				
Misselbrook <i>et al.</i> (2005a)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	UK	bouwland	bovengronds	12
Misselbrook <i>et al.</i> (2005b)	n.b.	54 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	UK	n.b.	n.b.	5
Misselbrook <i>et al.</i> (2005b)	n.b.	29 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	UK	n.b.	n.b.	5
Nicholson <i>et al.</i> (2004)	n.b.	46-92 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	UK	bouwland	bovengronds	28
Nicholson <i>et al.</i> (2004)	n.b.	67-118 ⁽¹⁾	n.b.	n.b.	UK	bouwland	bovengronds	28
Rodhe & Karlsson (2002)	18,0	39,1	13,5	13,5	Zweden	bouwland	bovengronds	5
Rodhe & Karlsson (2002)	10,1	21,8	7,5	7,5	Zweden	bouwland	bovengronds + ondergewerkt	5
Lockyer <i>et al.</i> (1989)	13,8	21,4	6,5	6,5	Nederland	grasland	bovengronds	6
Lockyer <i>et al.</i> (1989)	12,7	37,2	7,2	7,2	Nederland	grasland	bovengronds	6
Chambers <i>et al.</i> (1997)	29,9	46 ⁽¹⁾	14	14	UK	bouwland	n.b.	9
Chambers <i>et al.</i> (1997)	19,8	15 ⁽¹⁾	7	7	UK	bouwland	n.b.	23
Chambers <i>et al.</i> (1997)	46,4	41 ⁽¹⁾	18	18	UK	bouwland	n.b.	30
Menzi <i>et al.</i> (1997)	n.b.	60	19	19	Zwitserland	grasland	bovengronds	4
Menzi <i>et al.</i> (1997)	n.b.	60	3	3	Zwitserland	grasland	bovengronds	4
Schilke-Gartley & Sims (1993)	23-191	n.b.	4-31	4-31	VS	braakland	bovengronds	12
Sharpe <i>et al.</i> (2004)	n.b.	36,3-95,1 ⁽²⁾	5,4-23,9 ⁽²⁾	5,4-23,9 ⁽²⁾	VS	bouwland	bovengronds	8
Sharpe <i>et al.</i> (2004)	n.b.	42,3-101 ⁽²⁾	5,2-22,3 ⁽²⁾	5,2-22,3 ⁽²⁾	VS	bouwland	bovengronds + ondergewerkt	8
Sharpe <i>et al.</i> (2004)	n.b.	13,4 ⁽³⁾	4,1 ⁽³⁾	4,1 ⁽³⁾	VS	bouwland	bovengronds	8
Sharpe <i>et al.</i> (2004)	n.b.	9,9 ⁽³⁾	3,3 ⁽³⁾	3,3 ⁽³⁾	VS	bouwland	bovengronds + ondergewerkt	8
Marshall <i>et al.</i> (2001)	3,5-10,4	n.b.	1,7-6,4 ⁽⁴⁾	1,7-6,4 ⁽⁴⁾	VS	grasland	bovengronds	14
Marshall <i>et al.</i> (2001)	n.b.	28-46	7	7	VS	grasland	bovengronds	n.b.
Nathan & Malzer (1994)	n.b.	n.b.	2	2	n.b.	n.b.	bovengronds	n.b.
Nathan & Malzer (1994)	n.b.	n.b.	0,1	0,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cabrera <i>et al.</i> (1994)	n.b.	n.b.	22,5-27,6	22,5-27,6	n.b.	n.b.	bovengronds	n.b.

⁽¹⁾ % UAN (ureum en NH₄⁺-N).⁽²⁾ Zomermetingen.⁽³⁾ Wintermetingen.⁽⁴⁾ Zes waarnemingen (3 locaties, 2 jaar).

6. Discussie, conclusies en aanbevelingen

Voor de ammoniakemissie is het belangrijk te weten wat de mestamenstelling is op het moment van mest uitrijden. Voor de ammoniakemissie bij uitrijden wordt veelal uitgegaan van de beschikbare ammoniakale (vervluchtigbare) stikstof in de mest; de emissie wordt uitgedrukt als percentage van de hoeveelheid uitgereden vervluchtigbare stikstof. Dit percentage kan dan gebruikt worden om de verwachte emissie te berekenen bij een gewijzigde mestamenstelling (tenzij andere informatie beschikbaar is). De mestamenstelling van biologische bedrijven of gangbare bedrijven kan verschillend zijn (ander N-totaal gehalte of ander fractie N-mineraal). Voor de verwachte ammoniakemissie is geen aanleiding gevonden (en ook geen gegevens beschikbaar) dat mest van een biologisch bedrijf zich wat betreft ammoniakemissie anders gedraagt dan gangbare mest. Voor de verwachte emissie wordt dan hetzelfde emissiepercentage gehanteerd. Voor champost zou bovenstaande ook gelden, echter in champost zijn de ammoniumgehalten zeer laag. Mogelijk is deze ammonium meer gefixeerd (in voorgaande processen niet geëmitteerd). Geen meetgegevens zijn gevonden over de emissie bij uitrijden van champost.

De onderzoeken naar de ammoniakemissie bij het uitrijden van vaste mest zijn veelal fragmentarisch uitgevoerd. Een grote spreiding werd gevonden in de hoogte van de emissie van bijna geen emissie tot vervluchtiging van alle ammoniakale stikstof.

Tabel 9. Ammoniakemissie bij het uitrijden van vaste mest (% $\text{NH}_4\text{-N}$ gift).

	Rundvee	Varkens	Pluimvee
Nederland	65 (43-100)	40 (28-52)	20 (11-26)
Buitenland	55 (30-80)	70 (44-89)	45 (21-92)

Sommige onderzoeken concluderen lagere of gelijkwaardige emissies (% TAN) bij de vaste en dunne mestsoorten. Bij deze vergelijking moet wel opgemerkt worden dat de beschikbare mest niet vanzelfsprekend uit hetzelfde huisvestingssysteem of opslagsysteem beschikbaar was en dat de spreiding in mestamenstelling tussen verschillende bedrijven erg groot kan zijn. Onderwerken van de vaste mest op bouwland leidde veelal tot een aanzienlijke reductie van de ammoniakemissie.

De verwachting is binnen Nederland dat het aandeel vaste mest de komende jaren zal stijgen. Daar het onderzoek in het verleden slechts fragmentarisch is uitgevoerd zou voor een goede inschatting/onderbouwing van de optredende ammoniakemissie bij het uitrijden van vaste mest een gerichte meetstrategie voor mestsoorten uitgezet moeten worden mede gebaseerd op de bevindingen uit deze studie. Hierbij zal ook de meetduur in het veld meegenomen moeten worden. In Nederland wordt veelal bij dunne mest circa vier dagen aangesloten gemeten, maar deze tijdsduur kan tekort zijn bij vaste mest als gevolg van nog optredende omzettingen in de mest en het minder snel opgenomen worden van de mest in de grond.

Literatuur

- Amon, B., T. Amon, J. Boxberger & C. Alt (2001).
Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, 103-113.
- Bruins, M.A. (1991).
De ammoniakemissie tijdens en na het uitrijden van varkens-, runder en kippemest. IMAG rapport 91-5, IMAG, Wageningen, pp. 20.
- Bruins, M.A. & J.M.G. Hol (1990).
De ammoniakemissie na aanwending van vaste varkensmest en varkensmengmest. IMAG-nota P-498, IMAG, Wageningen, pp. 16.
- Bruins, M.A. & J.F.M. Huijsmans (1989).
De reductie van de ammoniakemissie uit varkensmest na toediening op bouwland. IMAG rapport 225, IMAG, Wageningen, pp. 27.
- Cabrera, M.L., S.C. Chiang, O.C. Merka, O.C. Pancorbo & S.A. Thompson (1994).
Pelletizing and soil water effects on gaseous emissions from surface-applied poultry litter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 807-811.
- Chambers, B.J., K.A. Smith & T.J. van der Weerden (1997).
Ammonia emissions following the land spreading of solid manures. In: *Gaseous N Emissions from Grasslands* (Jarvis, S.C. & B.F. Pain, eds.), pp. 225-280. CAB International, Oxon, UK.
- Hol, J.M.G. (1990).
De ammoniakemissie na aanwending van slachtkuikenmest, droge en natte kippemest. IMAG-nota P-564, IMAG, Wageningen, pp. 17.
- Kirchmann, H. & E. Witter (1989).
Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition. *Plant Soil* 115, 35-41.
- Lauer, D.A., D.R. Bouldin & S.D. Klausner (1976).
Ammonia volatilization from dairy manure spread on the soil surface. *Journal of Environmental Quality* 5: 134-141.
- Lockyer, D.R., B.F. Pain & J.V. Klarenbeek (1989).
Ammonia emissions from cattle, pig and poultry wastes applied to pasture. *Environmental Pollution* 56, 19-30.
- Malgeryd, J. (1998).
Technical measures to reduce ammonia losses after spreading of animal manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 51-57.
- Marshall, S.B., C.W. Wood, L.C. Braun, M.L. Cabrera, M.D. Mullen & E.A. Guertal (1998).
Ammonia volatilization from tall fescue pastures fertilized with broiler litter. *J. Environ. Qual.* 27, 1125-1129.
- Marshall, S.B., M.D. Mullen, M.L. Cabrera, C. Wesley Wood, L.C. Braun & E.A. Guertal (2001).
Nitrogen budget for fescue pastures fertilized with broiler litter in major land resource areas of the southeastern US. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 59, 75-83.
- Menzi, H. (2002).
Manure management in Europe: results of a recent survey. In: *Proceedings of the 10th International Conference of the RAMIRAN Network*, May 14-18, Slovak Republic.
- Menzi, H., P. Katz, R. Frick, M. Fahrni & M. Keller (1997).
Ammonia emissions following the application of solid manure to grassland. In: *Gaseous N Emissions from Grasslands* (Jarvis, S.C. & B.F. Pain, eds.), pp. 265-273. CAB International, Oxon, UK.
- Misselbrook, T.H. & M.N. Hansen (2001).
Field evaluation of the equilibrium concentration technique (JTI method) for measuring ammonia emission from land spread manure or fertiliser. *Atmospheric Environment* 35, 3761-3768.
- Misselbrook, T.H., F.A. Nicholson & B.J. Chambers (2005a).
Predicting ammonia losses following the application of livestock manure to land. *Bioresource Technology* 96, 159-168.

- Misselbrook, T.H., F.A. Nicholson, B.J. Chambers & R.A. Johnson (2005b).
Measuring ammonia emissions from land applied manure: an intercomparison of commonly used samplers and techniques. *Environmental Pollution* 13, 389-397.
- Mulder, E.M. & J.F.M. Huijsmans (1994).
Beperking ammoniakemissie bij mesttoediening; overzicht metingen DLO-veldmeetploeg 1990-1993. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 18. DLO, Wageningen, pp. 71.
- Nathan, M.V. & G.L. Malzer (1994).
Dynamics of ammonia emission from turkey manure and urea applied to soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 58, 985-990.
- Nicholson, F.A., B.J. Chambers & A.W. Walker (2004).
Ammonia emissions from broiler litter and laying hen manure management systems. *Biosystems Engineering* 89(2), 175-185.
- Rohde, L. & S. Karlsson (2002).
Ammonia emissions from broiler manure – Influence of storage and spreading method. *Biosystems Engineering* 82: 455-462.
- Schilke-Gartley, K.L. & J.T. Sims (1993).
Ammonia volatilization from poultry manure-amended soil. *Biol. Fertil. Soils* 16, 5-10.
- Sharpe, R.R., H.H. Schomberg, L.A. Harper, D.M. Endale, M.B. Jenkins & A.J. Franzluebbbers (2004).
Ammonia volatilization from surface-applied poultry litter under conservation tillage management practices. *J. Environ. Qual.* 33, 1183-1188.
- Sommer, S.G. & B.T. Christensen (1990).
NH₃ emission from solid manure and raw, fermented and separated slurry after surface application, injection, incorporation into the soil and irrigation. *Tidsskr. Planteavl.* 94, 407-417.
- Wolf, D.C., M.L. May, J.M. Phillips & P.M. Gale (1987).
Ammonia volatilization from soil amended with hen manure. *Agronomy Abstr. Am. Soc. Agron, Madison, Wisconsin.*