



# Ammoniakemissie bij alternatieve mesttoedieningsmethoden

Deskstudie

J.F.M. Huijsmans & B.R. Verwijs







# Ammoniakemissie bij alternatieve mesttoedieningsmethoden

Deskstudie

J.F.M. Huijsmans & B.R. Verwijs

© 2008 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.

## **Plant Research International B.V.**

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 – 48 60 01  
Fax : 0317 – 41 80 94  
E-mail : [info.pri@wur.nl](mailto:info.pri@wur.nl)  
Internet : [www.pri.wur.nl](http://www.pri.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
1. Inleiding	5
2. Technieken	7
2.1 Water als hulpstof	7
2.1.1 Verregenen van verdunde mest	7
2.1.2 Inregenen van dunne mest	9
2.2 Toevoegmiddelen	12
2.2.1 Aangezuurde mest	12
2.2.2 Andere toevoegmiddelen	13
2.3 Sleepslangenmachine	14
2.4 Direct Ground Injection (DGI)	15
2.5 Gecombineerde technieken	16
3. Toepassing van de alternatieve technieken	19
4. Conclusies	23
Literatuur	25



# Voorwoord

Eind vorige eeuw is emissiearme mesttoediening geïmplementeerd binnen de regelgeving met het doel de ammoniakemissie vergaand te reduceren. In opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) is een deskstudie uitgevoerd naar de ammoniakemissie bij alternatieve mesttoedieningsmethoden en hun toepassing binnen Nederland.





## Samenvatting

Eind vorige eeuw is emissiearme mesttoediening geïmplementeerd binnen de regelgeving met het doel de ammoniakemissie vergaand te reduceren. Binnen de raamwerken van het Nederlandse beleid wordt ingestelde regelgeving van tijd tot tijd geëvalueerd. In het verleden zijn ook alternatieven onderzocht om de emissie bij het uitrijden te reduceren. Bij deze alternatieven werd de mest veelal bovengronds toegediend. Een overzicht van deze technieken met bijbehorende effecten op de ammoniakemissie ontbreekt. Voor de evaluatie van emissiearme mesttoediening is het ook van belang inzicht te hebben in deze alternatieven.

In een deskstudie zijn de alternatieve mesttoedieningsmethoden op een rij gezet met bijbehorende (verwachte) ammoniakemissie en achtergronden over de toepassing van deze technieken. Het overzicht is gericht op methoden voor grasland. Eventuele gewaseffecten, optredende geur en afwenteling van emissies naar andere compartimenten zijn in deze rapportage niet meegenomen.

Bij het uitrijden van verdunde mest en het inregenen van mest werd een grote spreiding in de hoogte van de ammoniakemissie gevonden. Bij een verdunning van 1 op 3 (1 deel mest, 3 delen water) varieerde de emissie van 15-40% en was de gemiddelde emissiereductie meer dan 50% (18-73%). Bij het inregenen werden emissies gevonden variërend van 5-70% en emissiereducties van 45-89%. Hierbij speelt de intensiteit en hoeveelheid water een rol bij de mate van emissiereductie. Indien eerst mest wordt uitgereden en vervolgens in een tweede werkgang met een tank water over de mest wordt gespreid is het van belang dat de tijd tussen mest uitrijden en water toedienen kort is. Zowel bij het uitrijden van verdunde mest als bij het inregenen van de mest spelen net zoals bij bovengronds verspreiden van onbehandelde mest de weersomstandigheden tijdens uitrijden en tijdens de opvolgende dagen na de mesttoediening een belangrijke rol bij de uiteindelijke hoogte van de emissie.

Het uitrijden van aangezuurde mest kan een aanzienlijke emissiereductie geven. Door de mest aan te zuren werd een emissiereductie bereikt van 85, 72 en 55% bij respectievelijk een pH 4,5, pH 5,0 en pH 6,0. Van andere toevoegmiddelen aan de mest zijn geen emissiereducerende resultaten beschikbaar.

Bij het inregenen, toepassing van verdunde mest, aanzuren en toepassen van toevoegmiddelen zal de handhaving (heterdaad en naderhand) extra aandacht vragen of moeizaam zijn uit te voeren.

De emissiereductie bij toepassing van een sleepslangenmachine is lager dan bij toepassing van een sleepvoetenmachine. Van de sleepslangenmachine zijn echter slechts een beperkt aantal metingen beschikbaar en een onderlinge vergelijking met een sleepvoetenmachine is niet gemaakt. Het DGI-systeem (Direct Ground Injection) gaf in het uitgevoerde onderzoek vergelijkbare emissiereducties als bij zodenbemesting.

Het combineren van technieken en methoden (verdunde mest inregenen, aangezuurde mest uitrijden met een sleepslangenmachine) kan leiden tot een extra emissiereductie ten opzichte van alleen één emissiereducerende techniek.

De onderzoeken naar de ammoniakemissie bij alternatieven voor het uitrijden van mest (met name verdunnen, inregenen en sleepslangenmachine) zijn veelal fragmentarisch verkennend uitgevoerd. Het aantal metingen is meestal beperkt en vertoont een grote spreiding. Een effect van invloedsfactoren op de hoogte van de emissie bij deze alternatieve mesttoediening is daardoor niet aan te geven. Een totaalanalyse, waarbij ook andere invloedsfactoren op de ammoniakemissie worden meegenomen, zal nodig zijn om een goede inschatting van de verwachte emissie te kunnen maken. Daarbij zullen dan, naar alle waarschijnlijkheid, ook aanvullende onderbouwende metingen noodzakelijk zijn.



# 1. Inleiding

Eind vorige eeuw is emissiearme mesttoediening geïmplementeerd binnen de regelgeving met het doel de ammoniakemissie vergaand te reduceren. Onder emissiearme mesttoediening wordt verstaan het in stroken of sleuven toedienen van de mest op grasland, in sleuven in de grond toedienen of inwerken/injectie op onbeteeld bouwland en in sleuven in de grond toedienen op beteeld bouwland. Het huidige beleid bestaat inmiddels meer dan 10 jaar. Binnen de raamwerken van het Nederlandse beleid wordt ingestelde regelgeving van tijd tot tijd geëvalueerd. In 2008 vindt een algehele evaluatie van emissiearme mesttoediening plaats.

Voor bovengronds breedwerpige en emissiearme mesttoediening is inmiddels een studie uitgevoerd naar de optredende ammoniakemissie, mestbenutting en nevenaspecten (Huijsmans *et al.*, 2008). In het verleden zijn ook alternatieven onderzocht om de emissie bij het uitrijden te reduceren. Bij deze alternatieven werd de mest veelal bovengronds toegediend. Een overzicht van deze technieken met bijbehorende effecten op de ammoniakemissie ontbreekt. Voor de evaluatie van emissiearme mesttoediening is het ook van belang inzicht te hebben in deze alternatieven.

De voorliggende rapportage beoogt een overzicht te geven van onderzochte alternatieve mesttoedieningsmethoden met bijbehorende (verwachte) ammoniakemissie en achtergronden over de toepassing van deze technieken. 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 ammoniakale stikstof (% TAN - of %  $\text{NH}_4\text{-N}$  - gift). Het overzicht beperkt zich tot de emissieonderzoeken uitgevoerd in Nederland. Hierbij wordt ook de toepassing van deze technieken betrokken die destijds heeft geleid tot het wel of niet erkennen van deze technieken als emissiearm. Het overzicht is gericht op methoden voor grasland. Eventuele gewaseffecten, optredende geur en afwenteling van emissies naar andere compartimenten wordt in deze rapportage niet meegenomen.

Begin jaren '90, bij de aanvang van emissiearme mesttoediening, zijn veel deelonderzoeken uitgevoerd waarvan afzonderlijke deelrapporten zijn gemaakt. Mulder & Huijsmans (1994) hebben een samenvatting gemaakt van deze verschillende deelonderzoeken. In de voorliggende deskstudie zal regelmatig naar Mulder & Huijsmans (1994) worden verwezen.

In hoofdstuk 2 worden de gegevens over de ammoniakemissie bij de verschillende alternatieve methoden en technieken besproken aan de hand van een onderverdeling. In hoofdstuk 3 wordt de toepassing van deze technieken bediscussieerd. Tot slot worden in hoofdstuk 4 de conclusies samengevat.



## 2. Technieken

### 2.1 Water als hulpstof

#### 2.1.1 Verregenen van verdunde mest

Door verdunning van mest wordt de ammoniumconcentratie verlaagd en de indringing in de grond verbeterd. Bij het bovengronds, breedwerpig verspreiden van verdunde mest (verdund verregenen, Figuur 1) kan de mest gelijktijdig met of direct voor het verspreiden worden verdund met water. Bij de experimenten voor het meten van de ammoniakemissie werd de mest in een mesttank verdund en bovengronds breedwerpig verspreid. De verdunningen werden aangemaakt op basis van gewicht, uitgedrukt in de verhouding tussen delen mest en water. In de experimenten werd gestreefd naar een gelijke mestgift als bij de referentie (onverdunde mest). Dit betekende bijv. dat bij 1:2-verdunde mest de hoeveelheid mest en water drie keer zo hoog was als bij onverdunde mest.

Door verschillende onderzoekers en onderzoeksinstellingen zijn metingen verricht naar de ammoniakemissie bij het uitrijden van verdunde mest. Tabel 1 geeft een overzicht van de uitgevoerde experimenten. Huijsmans *et al.* (1997) hebben een totaal analyse op deze metingen uitgevoerd. In Tabel 2 staat de geschatte gemiddelde cumulatieve emissies tot 96 uur na het moment van toedienen voor de verschillende verdunningen.

De voorspelde emissies bij onverdund, 1:1 verdunning en de 1:2/1:3 verdunning verschilden onderling significant van elkaar; de 1:2 verdunning en de 1:3 verdunning verschilden niet significant van elkaar. Hierbij moet worden opgemerkt dat de emissie bij de 1:2 verdunning slechts in 3 proeven was gemeten.

De gemeten emissies vertoonden een relatief grote spreiding. In de analyse werd de gemiddelde emissiereductie berekend; dit was bij de 1:1 verdunning 25%, bij de 1:2 verdunning 71% en bij de 1:3 verdunning 63%. De 1:2 verdunning betrof slechts een beperkt aantal metingen.

Mulder & Huijsmans (1994) rapporteren nog over metingen aan 1:6 verdunde mest; de ammoniakemissie varieerde van 15-47% TAN-gift. Met bijbehorende emissiereducties van 0-82%.

Tabel 1. Ammoniakemissie (% van  $\text{NH}_4\text{-N}$  gift) 96 uur na toedienen van bovengronds breedwerpig toegediende onverdunde (referentie) en verdunde mest en de emissiereductie van de verdunning na 96 uur ten opzichte van de referentie (naar Huijsmans et al., 1997).

Verdunning	Jaar	Week	Grond	Referentie Emissie (% $\text{NH}_4\text{-N}$ )	Verdunning Emissie (% $\text{NH}_4\text{-N}$ )	Reductie (%)	
1:1	1989	38	veen	66,1	21,5	67	Hol, 1997
	1990	17	veen	58,3	72,7	0	Huijsmans & Hol, 1994
	1990	22	veen	44,2	50,1	0	Huijsmans & Hol, 1994
	1990	25	klei	84,5	73,9	13	Hol, 1993a
	1990	30	klei	83,5	66,4	20	Bode, 1990a
	1990	31	klei	66,2	56,6	15	Bode, 1990b
	1990	36	veen	49,7	53,3	0	Huijsmans & Hol, 1994
	1992	12	klei	84,8	36,4	57	Mulder & Hol, 1992
1:2	1989	13	zand	29,3	8,5	71	Bussink <i>et al.</i> , 1990
	1993	10	klei	71,1	25,6	64	Mulder & Hol, 1993a
	1993	10	klei	71,9	24,6	66	Mulder & Hol, 1993a
1:3	1989	15	zand	27,3	15,2	44	Bussink <i>et al.</i> , 1990
	1989	28	klei	68,1	33,3	51	Bussink <i>et al.</i> , 1990
	1989	38	veen	66,1	34,7	48	Hol, 1997
	1990	17	veen	58,3	20,7	65	Huijsmans & Hol, 1994
	1990	22	veen	44,2	22,5	49	Huijsmans & Hol, 1994
	1990	24	zand	33,9	12,6	63	Bussink & Tjalma, 1991
	1990	26	zand	51,0	14,3	72	Bussink & Tjalma, 1991
	1990	35	veen	52,0	14,4	73	Klarenbeek <i>et al.</i> , 1992
	1990	36	veen	49,7	40,7	18	Huijsmans & Hol, 1994

Tabel 2. Gemiddelde ammoniakemissie bij verschillende verdunningen (naar Huijsmans et al., 1997).

	Cumulatieve relatieve emissie na 96 uur
Referentie (n=15)	64,8
1:1 verdunning (n=8)	48,4
1:2 verdunning (n=3)	18,5
1:3 verdunning (n=9)	24,3



Figuur 1. Verregenen van verdunde mest.

## 2.1.2 Inregenen van dunne mest

### Duospray machine

Bij het inregenen van mest wordt tijdens of na het toedienen van de mest water gelijkmatig over de mest verspreid. Met het water wordt de mest van het gras afgespoeld. Mulder & Huijsmans (1994) rapporteren over emissie-metingen aan een duospraymachine (Figuur 2). Bij deze machine wordt gelijktijdig mest en water toegediend. De tank bestaat uit twee compartimenten: een voor water en een voor mest. Via een ketsplaat wordt de mest en het water dusdanig verspreid dat het water over de mest wordt verdeeld.

In 4 experimenten werd 5 keer de emissie van de ingeregende mest gemeten. Bij de experimenten werd dunne rundermest gebruikt, met uitzondering van één experiment met dunne varkensmest. In Tabel 3 staat een overzicht van deze experimenten.

Tabel 3. Ammoniakemissie [%  $\text{NH}_4\text{-N}$ ] na toediening van dunne rundermest met een duospraymachine en de emissiereductie [%] ten opzichte van bovengronds, breedwerpig toegediende, onbehandelde mest (Mulder & Huijsmans, 1994).

Water [m <sup>3</sup> /ha]	Week en jaar	Grond	Gras [cm]	Mestgift [m <sup>3</sup> /ha]	Emissie [% $\text{NH}_4\text{-N}$ ]	Reductie [%]
13,7	30 1990	klei	8	11,3	62,2	25
13,5	31 1990a	klei	8	10,0	51,1	23
16,6	12 1992	klei	7	15,4	21,1	75
19,3	38 1992	klei	9	16,1	30,0	66
22,8	38 1992	klei	9	19,0	28,7	67

<sup>a</sup> dunne varkensmest.



Figuur 2. Duospraymachine.

Het toedienen en inregenen van mest gaf een emissie van 21-62% van de TAN-gift bij een gelijke dosering van mest en water. Dit kwam overeen met een emissiereductie van 25-75% ten opzichte van de referentie.

Deze grote spreiding in de emissie- en reductiegegevens tussen de metingen in 1990 en 1992 zijn mogelijk een gevolg van de verschillen in de weersomstandigheden tijdens de experimenten en dat de experimenten in 1992 met een veranderde machine zijn uitgevoerd, waarmee de mest beter van het gras kon worden afgespoeld.

## Inregenen

Het inregenen kan ook plaats vinden in twee aparte opeenvolgende bewerkingen of bij uitrijden onder een beregeningsinstallatie (haspelautomaat, regenslanginstallatie of buizeninstallatie met sproeiërs; Figuur 3). Bussink *et al.* (1990) en Bussink & Tjalma (1991) rapporteren over emissies die variëren van 5 tot 28% van de TAN-gift en emissiereducties die variëren van 45 tot 89%.

Mosquera *et al.* (2005) hebben metingen uitgevoerd bij melkveebedrijf Spruit. Bij de metingen waarbij na het uitrijden van de mest ook een tank water over de mest werd uitgereden varieerde de emissie van 26 tot 36% van de TAN-gift in de proefvelden. Bij de volveldsmetmethode varieerde de emissie van 18 tot 68% van de TAN-gift. Hierbij moet vermeld worden dat bij de emissie van 18% gemeten is tot 29 uur na het moment van uitrijden met binnen 12 uur na uitrijden veel regen, bij de emissie van 19% gemeten is tot 12 uur na het moment van uitrijden (incl. bagger toedienen) en de 68% gemeten is tot 47 uur na het moment van uitrijden. In de meeste onderzoeken wordt tot 96 uur na het moment van uitrijden de emissie gemeten. Zij concluderen dat deze methode kwetsbaar is in de uitvoering, omdat de weersomstandigheden, waar sterk op wordt ingespeeld, zodanig kunnen wijzigen dat alsnog een hogere emissie wordt bewerkstelligd. Ook is het in de praktijk niet altijd mogelijk te wachten op ideale bemestingsomstandigheden.





Figuur 3. Het met een buizeninstallatie inregenen van mest.

### Bagger over de mest verspreiden

Mulder & Huijsmans (1994) rapporteren twee emissiemetingen binnen één experiment, waarbij bagger vermengd met slootwater rechtstreeks uit een sloot werd opgezogen en over een bemest veld werd gespoten (Figuur 4). In Tabel 4 is een overzicht van het experiment gegeven. Bij het toedienen van de bagger over de mest werd de emissiereductie naar verwachting met name bepaald door de dikke laag bagger (circa 10 mm), die de mest van de lucht afsloot. Door het lage ammoniumstikstofgehalte in de bagger (< 50 mg/kg) was de emissie daarvan te verwaarlozen.

Tabel 4. Ammoniakemissie [%  $\text{NH}_4\text{-N}$ ] na toediening van bagger over dunne rundermest en de emissiereductie [%] ten opzichte van bovengronds, breedwerpig toegediende, onbehandelde mest (referentie).

Bagger [m <sup>3</sup> /ha]	Week en jaar	Grond	Gras [cm]	Gift [m <sup>3</sup> /ha]	Emissie [% $\text{NH}_4\text{-N}$ ]	Reductie [%]
circa 109	35 1992	veen	8	14,0	27,0	71
circa 121	35 1992	veen	8	14,0	21,9	76

Mosquera *et al.* (2005) hebben bij melkveebedrijf Spruit ook een volveldsmeting uitgevoerd waarbij na het mest uitrijden eerst een tank water over de mest werd uitgereden en vervolgens nog bagger over het veld werd verspoten. Zij vonden op 12 uur na het moment van uitrijden een emissie van 19% van de TAN-gift.



Figuur 4. *Bagger, vermengd met slootwater, verspreiden over uitgereden mest.*

## 2.2 Toevoegmiddelen

### 2.2.1 Aangezuurde mest

Door het toevoegen van zuur aan mest zal de pH van de mest worden verlaagd. Hiervoor dient bij voorkeur een sterk zuur te worden gebruikt, omdat daarvan weinig hoeft te worden toegevoegd. Het zuur moet geen extra belasting opleveren voor het milieu. Salpeterzuur ( $\text{HNO}_3$ ) voldoet aan beide eisen, maar dan moet bij de mestgift met de extra stikstofgift rekening worden gehouden.

Aanzuren van mest kan plaats vinden tijdens de bewaarperiode in de opslag waarbij een lage pH (4,0-4,5) noodzakelijk is. Daarnaast kan de mest ook vlak voor toediening in een aanzuurinstallatie tot een willekeurig pH worden aangezuurd.

Mulder & Huijsmans (1994) maakten in hun onderzoek gebruik van mest die werd aangezuurd in een mestkelder (in 1990) en vlak voor toediening in een aanzuurinstallatie (in 1991 en 1992). In 1990 werd in de kelder aangezuurde mest ( $\text{pH} \leq 5,0$ ) voor het toedienen gemengd met onbehandelde mest tot een hogere pH ( $>6,0$ ). De aangezuurde mest werd vervolgens met een sleepslangenmachine toegediend. Als referentie werd de onbehandelde mest zowel met een sleepslangenmachine als breedwerpig toegediend. Bij de bespreking van deze resultaten wordt het effect van aanzuren eerst bepaald ten opzichte van de referentie met de sleepslangenmachine (zie ook paragraaf 2.5).

In totaal werden 2 experimenten met in de kelder aangezuurde mest (keldervariant) op veengrasland en 3 experimenten met vlak voor het toedienen aangezuurde mest (uitrijdvariant) op kleigrasland uitgevoerd. In totaal werd 13 keer de emissie van dunne rundermest met verschillende pH's gemeten. In Tabel 5 staat een overzicht van deze experimenten gegeven.

Afhankelijk van de pH van de aangezuurde mest werd de emissie in meer (lage pH) of mindere (hogere pH) mate verlaagd. Reductiepercentages van meer dan 80% werden gerealiseerd bij pH-waarden kleiner dan of gelijk aan 5,0 en in een enkel geval vanwege koud, vochtig weer (veel regen) bij 5,8. De spreiding in de gegevens bij een pH

tussen 5 en 6 was groot. De verschillen in de emissie in dit traject bleken naast de pH, te worden veroorzaakt door grote verschillen in weersomstandigheden tussen de experimenten.

Tabel 5. Ammoniakemissie [% NH<sub>4</sub>-N] na toediening van aangezuurde dunne rundermest en de emissiereductie [%] ten opzichte van bovengronds, breedwerpig toegediende, onbehandelde mest (referentie).

pH	Week en jaar	Grond	Gras [cm]	Gift [m <sup>3</sup> /ha]	Emissie [% NH <sub>4</sub> -N]	Reductie [%]
4,9	29 1991 <sup>a</sup>	klei	6	10,2	20,6	79
4,9	27 1990 <sup>b</sup>	veen	9	10,1	5,5 <sup>f</sup>	83 <sup>g</sup>
5,0	18 1990 <sup>c</sup>	veen	8	8,8	3,4 <sup>f</sup>	94 <sup>g</sup>
5,2	21 1992 <sup>d</sup>	klei	8	15,8	35,5	60
5,6	21 1992	klei	8	12,0	43,2	51
5,7	21 1992	klei	8	13,0	37,0	58
5,8	29 1991	klei	6	10,3	47,8	51
5,8	11 1992 <sup>e</sup>	klei	4	15,1	13,5	84
6,0	29 1991	klei	6	10,1	46,5	52
6,3	11 1992	klei	7	16,7	29,5	66
6,6	11 1992	klei	7	14,9	60,5	29
6,3	27 1990	veen	9	9,6	26,0 <sup>f</sup>	18 <sup>g</sup>
6,7	18 1990	veen	8	9,1	45,4 <sup>f</sup>	16 <sup>g</sup>

pH van de referentie: <sup>a</sup>: 7,0; <sup>b</sup>: 7,2; <sup>c</sup>: 7,4; <sup>d</sup>: 6,8; <sup>e</sup>: 7,4;

<sup>f</sup> toegediend met de sleepslangenmachine;

<sup>g</sup> ten opzichte van onbehandelde mest toegediend met de sleepslangenmachine.

Bussink *et al.* (1994) hebben een totaalanalyse gemaakt van de ammoniakemissie bij bovengronds breedwerpige toediening van aangezuurde mest. In de veldmetingen werd een gemiddelde totale emissie van 60% van TAN (range 29-98%) gevonden bij onbehandelde mest. Door de mest aan te zuren werd een emissiereductie bereikt van 85, 72 en 55% bij respectievelijk een pH 4,5, pH 5,0 en pH 6,0.

## 2.2.2 Andere toevoegmiddelen

De Bode (1990c), Hol (1993b) en Mulder & Hol (1993b) rapporteren over emissiemetingen na toevoeging van middelen aan de mest. Door toevoeging van middelen aan de mest kunnen reacties in de mest worden beïnvloed, waardoor de emissie mogelijk kan worden beperkt. De effecten van de volgende toevoegmiddelen werden onderzocht: F.I.R. (carbomix), KAPTO (12% formaldehyde) en de behandeling Oligolyse. In totaal werden 3 experimenten uitgevoerd met dunne rundermest, behandeld met respectievelijk F.I.R., KAPTO, en Oligolyse. In Tabel 6 is een overzicht van deze experimenten gegeven.

Tabel 6. Ammoniakemissie [% NH<sub>4</sub>-N] na toediening van dunne rundermest behandeld met F.I.R. KAPTO of oligolyse en de emissiereductie [%] ten opzichte van bovengronds, breedwerpig toegediende mest (referentie).

Toevoegmiddel	pH [-]	NH <sub>4</sub> -N [g/kg]	Week en jaar	Grond	Gras [cm]	Gift [m <sup>3</sup> /ha]	Emissie [% NH <sub>4</sub> -N]	Reductie [%]
F.I.R.	7,5	3,0	11 1990	klei	-	17,2	47,1	0
	7,5	3,0	11 1990	klei	-	16,3	47,7	0
KAPTO5%	6,1	0,7 (1,6) <sup>a</sup>	31 1991	klei	7	14,4	52,4 (0,2) <sup>b</sup>	26 (100)
	5,8	0,4 (1,6) <sup>a</sup>	31 1991	klei	7	14,5	41,1 (0,1)	43 (100)
	7%	5,6	0,3 (1,6) <sup>a</sup>	31 1991	klei	7	13,9	38,4 (1,7)
Oligolyse	7,4	2,6	28 1992	veen	9	13,7	95,5	0
	7,4	2,6	28 1992	veen	9	13,8	99,5	0

<sup>a</sup> Oorspronkelijke ammoniumstikstofgehalte voor toevoeging KAPTO.

<sup>b</sup> Ten opzichte van oorspronkelijke hoeveelheid ammoniumstikstof.

Alleen bij de mest waaraan KAPTO was toegevoegd bleek de ammoniakemissie te worden gereduceerd. Door F.I.R. en Oligolyse werd de samenstelling van de mest niet (sterk) gewijzigd en werd geen emissiereductie bereikt.

Naast bovengenoemde middelen werden nog een aantal andere middelen onderzocht in windtunnels (oppervlakte 1 m<sup>2</sup>). De middelen S-62, Clean Air I, GPS-06, Zeoliet, Tocla-Sorb, De-odorase en Byotech-mest bleken, in de onderzochte doseringen, geen van allen een emissiereducerend effect te hebben.

Huijsmans *et al.* (1999) rapporteren drie meetseries waarin een vergelijking wordt gemaakt tussen de emissie bij het uitrijden van F.I.R. mest en onbehandelde mest. Zij concluderen dat het verloop van de ammoniakemissie van de F.I.R.- en de referentiemest vergelijkbaar was; de emissiehoogte werd met name bepaald door de emissie die optrad gedurende de eerste uren na de mesttoediening. De metingen gaven geen verschil in emissie aan tussen bovengronds verspreiden van onbehandelde rundermest (referentie) en mest afkomstig van runderen, waarbij F.I.R. aan het voederrantsoen was toegevoegd.

## 2.3 Sleepslangenmachine

Bij een sleepslangenmachine wordt de mest via slangen toegediend. De slangen hangen 5-10 cm boven de grond of slepen over de grond en de mest wordt in stroken op het gras gelegd. De werkbreedte bedraagt circa 12 m en de onderlinge afstand tussen de slangen en de meststroken bedraagt circa 30 cm (Figuur 5). De breedte van de meststroken is 5-10 cm, afhankelijk van de mestgift en vloeieigenschappen van de mest.

Mulder & Huijsmans (1994) rapporteren over 3 experimenten waarin de ammoniakemissie na mesttoediening met een sleepslangenmachine is gemeten. Bij alle metingen was dunne rundermest gebruikt. In Tabel 7 staat een overzicht van deze experimenten gegeven. De emissiereductie van de sleepslangenmachine bedroeg 25-54% ten opzichte van de referentie en was hiermee lager dan de verkleining van het emitterend oppervlak.



Figuur 5. Sleepslangenmachine; de mest wordt in stroken op het gras gelegd.

Tabel 7. Ammoniakemissie [%  $\text{NH}_4\text{-N}$ ] na toediening van dunne rundermest met een sleepslangenmachine en de emissiereductie [%] ten opzichte van bovengronds, breedwerpig toegediende mest.

Week en jaar	Grond	Gras [cm]	Gift [m <sup>3</sup> /ha]	Emissie [% $\text{NH}_4\text{-N}$ ]	Reductie [%]
18 1990	veen	8	9,8	54,0	25
27 1990	veen	9	9,1	31,5	46
24 1991	klei	6	15,7	44,3	54

## 2.4 Direct Ground Injection (DGI)

Huijsmans *et al.* (1998) rapporteren over emissiemetingen aan een Direct Ground Injection machine (DGI; Figuur 6), die in Noorwegen is ontwikkeld. De DGI injecteert de mest in de grond zonder de zode geheel te doorsnijden. De DGI bestaat uit glijsloffen die over de zode glijden. De onderlinge afstand tussen de glijsloffen is 30 cm. Iedere glijslof is voorzien van kleine opening waardoor de mest onder hoge druk (5-7 bar) in de grond gespoten wordt. De opening wordt door een snel roterend mes geopend en weer afgesloten; hierdoor wordt de mest pulsgewijs geïnjecteerd. Door het roterend mes worden verstoppingen voorkomen. Het kort open staan van de spuitopeningen resulteert in gaten in de zode waar de mest tot een diepte van circa 5 cm met grond gemengd wordt. De injectie openingen van de glijsloffen zijn niet gelijktijdig geopend. In de langsrichting en over werkbreedte ontstaat zo een 'gatenpatroon' in de zode waar de mest in geïnjecteerd is.



*Figuur 6. Injectiemachine.*

In totaal werden 8 metingen uitgevoerd; 4 op veengrond en 4 op kleigrond. Binnen deze metingen werd de DGI vergeleken met bovengronds breedwerpige mesttoediening en een zodenbemester. In Tabel 8 staan de gemeten gemiddelde ammoniakemissies over deze 8 metingen. De gemiddelde ammoniakemissie bij de DGI was 23% van de TAN-gift (range 12-43%). De gemiddelde emissiereductie ten opzichte van bovengrondse mesttoediening was 71% (range 46-88%). De bereikte emissiereducties waren, in deze experimenten, vergelijkbaar met een zodenbemester.

*Tabel 8. Gemiddelde ammoniakemissie DGI machine t.o.v. bovengronds uitrijden en de zodenbemester.*

	Mestgift (m <sup>3</sup> /ha)	Ammoniakemissie (% van de ammoniumgift)
Bovengronds lage mestgift	14	81
Bovengronds hoge mestgift	20	88
Zodenbemester	24	24
DGI machine	25	23

## 2.5 Gecombineerde technieken

Mulder & Huijsmans (1994) rapporteren over experimenten waarbij een combinatie van emissiereducerende toedieningstechnieken of een combinatie van techniek en mestsoort is toegepast. Tabel 9 geeft een overzicht van de experimenten waarin verdunde mest wordt toegediend met een duospraymachine (inregenen) en met een sleepslangenmachine.

*Tabel 9. Ammoniakemissie [% NH<sub>4</sub>-N] na toediening van verdunde rundermest met een duospraymachine (inregenen) en een sleepslangenmachine en de emissiereductie [%] van de combinaties en de afzonderlijke technieken ten opzichte van bovengronds, breedwerpig toegediende, onbehandelde mest (referentie).*

Techniek A	Techniek B	Week en jaar	Gras [cm]	Gift [m <sup>3</sup> /ha]	Emissie [% NH <sub>4</sub> -N]	Reductie [%] t.o.v. referentie		
						A&B	A	B
Inregenen	1:1-verdund	30 1990	8	18,6	31,2	63	25	21
		31 1990	8	15,3	14,5	78	23	13
Sleepslangenmachine	1:1-verdund	24 1991	6	27,7	33,7	65	54	-

Het gelijktijdig inregenen en toedienen van 1:1 verdunde mest met de duospraymachine leverde een emissiereductie op van 63-78% ten opzichte van de referentie. Het afzonderlijk inregenen met de duospraymachine of 1:1 verdunnen resulteerde in emissiereducties van respectievelijk 23-25% en 13-21% ten opzichte van de referentie. De combinatie van een sleepslangenmachine en 1:1-verdunde mest gaf een emissiereductie van 65%, terwijl onbehandelde mest toegediend met de sleepslangenmachine een reductie van 54% gaf.

Tabel 10 geeft een overzicht van de experimenten, waarin aangezuurde mest is toegediend met een sleepslangenmachine.

*Tabel 10. Ammoniakemissie [% NH<sub>4</sub>-N] na toediening van aangezuurde dunne rundermest met een sleepslangenmachine en de emissiereductie [%] ten opzichte van bovengronds, breedwerpig toegediende, onbehandelde mest (A&B); de emissiereductie van onbehandelde mest toegediend met de sleepslangenmachine ten opzichte van bovengronds breedwerpige toediening (A), en de emissiereductie van toediening van aangezuurde mest met de sleepslangenmachine ten opzichte van onbehandelde mest toegediend met de sleepslangenmachine (B).*

Techniek A	Techniek B	Week en jaar	Gras [cm]	Gift [m <sup>3</sup> /ha]	Emissie [% NH <sub>4</sub> -N]	reductie [%] t.o.v. referentie		
						A&B	A	B
Sleepslangen	pH 5,0	18 1990	8	8,8	3,4	90	25	94
	pH 6,7	18 1990	8	9,1	45,4	43	25	16
	pH 4,9	27 1990	9	10,1	5,5	90	41	83
	pH 6,3	27 1990	9	9,6	26,0	51	41	18

De toediening van licht aangezuurde mest (pH 6,3 en 6,7) met een sleepslangenmachine leverde weinig extra emissiereductie (43-51%) in vergelijking met de sleepslangenmachine en onbehandelde mest (25-41%). De combinatie van de sleepslangenmachine en aangezuurde mest met een lage pH (4,9 en 5,0) had een groot effect op de ammoniakemissie (reductie 90%). Dit effect werd voornamelijk veroorzaakt door het aanzuren tot een lage pH.





### 3. Toepassing van de alternatieve technieken

#### Verdunnen en inregenen

Bij het bovengronds verspreiden van verdunde mest wordt de mest direct vóór of gelijktijdig met het verspreiden verdund met water. De mest wordt met water verdund bij de pomp of in een mestkelder. De verdunning vindt plaats

1. Gelijktijdig bij de toediening. Bij deze werkwijze worden de volgende werktuigen toegepast voor toediening op het veld:
  - a. Mestpendelsysteem en sproeiboom. De mest en het water worden bij de pomp gemengd tot verdunde mest en vervolgens via een flexibele slang naar de mestpendel of sproeiboom gepompt. De mestpendel is achterop een trekker gemonteerd en pendelt naar links en naar rechts en verspreidt de mest over een vooraf ingestelde breedte (bijv. 8-20 m). In plaats van een mestpendel kan ook een sproeiboom worden gemonteerd. De sproeiboom heeft over een bepaalde werkbreedte een aantal sproeikoppen. De trekker met mestpendel of sproeiboom rijdt over het land en sleept de slang, waardoor de verdunde mest wordt aangevoerd, over het veld.
  - b. Aangepaste regenhaspelautomaat (zie Figuur 1). Evenals bij het mestpendelsysteem en de sproeiboom wordt de mest bij de pomp gemengd met water en via de haspel en slang naar de sproeier gepompt. De sproeier wordt door de slang langzaam over het veld getrokken, doordat de slang op de haspel wordt gerold. De verdunde mest wordt over een breedte van 40-60 m verspreid.
  - c. Roterende sproeier op sproeiwag. De mest wordt door een dunne flexibele slang vanaf een pomp naar de sproeier gepompt. De verdunde mest wordt met een rond draaiende sproeier over een breedte van 20-30 m verdeeld. De sproeier is op een lichtgewicht sproeiwagen gemonteerd. De sproeiwagen wordt met een staalkabel over het land getrokken.
2. In een opslag of mesttank. De verdunde mest kan vervolgens worden toegediend met een mesttank, mestpendelsysteem of sproeiboom, een aangepaste haspelautomaat of een roterende sproeier op sproeiwag.

Bij het inregenen van mest wordt tijdens en na het toedienen van de mest water gelijkmatig over de mest verspreid. De watergift bepaalt in hoeverre de mest vanaf het gras op of in de grond wordt gespoeld. Voor het inregenen van mest met water kunnen de volgende methoden worden toegepast:

- a. Gelijktijdig toedienen van mest en water in twee aparte bewerkingen.
 

De mest wordt breedwerpig bovengronds toegediend met een mesttank onder het directe bereik van een in werking zijnde beregeningsinstallatie. Dit houdt in dat op de plaats waar de mest wordt toegediend op hetzelfde moment ook water wordt toegediend.

Voor het verspreiden van het water worden de volgende installaties toegepast:

  - een regenslangstelsel (zie Figuur 3). Hierbij zijn meerdere sproeiers gemonteerd op een flexibele slang. De regenintensiteit bedraagt 8-10 mm per uur.
  - een buizeninstallatie. Deze installatie bestaat uit buizen waarop meerdere sproeiers zijn gemonteerd. Het stelsel is vergelijkbaar met het regenslangstelsel.
  - een haspelautomaat. Dit stelsel heeft een grote sproeier die snel over het land wordt getrokken. Het gras wordt in zeer korte tijd bevochtigd. De mest wordt in zeer korte tijd ingeregend.
  - een tankwagen met een spreidmechanisme die het water zijdelings verdeelt.
- b. Gelijktijdig toedienen van mest en verspreiden van water met een gecombineerd werktuig.
 

Werktuigen die hierbij toegepast worden zijn:

  - een tankwagen met twee compartimenten en twee sproeiers, waarbij de onderste sproeier de mest verspreidt en de bovenste sproeier water over de mest sproeit (bijvoorbeeld Duospray, Figuur 2);
  - een regenhaspelautomaat met twee boven elkaar geplaatste sproeiers op een verrijdbaar onderstel, waarbij de bovenste sproeier water over de mest sproeit. Mest en water worden vanaf de slangenhaspel door twee slangen naar de sproeiers gepompt. De slangen worden automatisch op de haspel gerold, zodat het onderstel over het land wordt getrokken.

- c. Na elkaar toedienen van mest en water in twee opeenvolgende bewerkingen. Nadat de mest met een tankwagen breedwerpig bovengronds over het land is verdeeld, wordt in een tweede daaropvolgende werkgang water met dezelfde tankwagen over de uitgereden mest gespreid.

Het voordeel van inregenen boven het verdund verregenen kan zijn dat de mest van het gras (in de bodem) wordt gespoeld (verkleining emitterend oppervlak). Aan de andere kant kan het voordeel van verdund verregenen boven het inregenen zijn dat alle ammonium in het water wordt opgelost en daardoor beter inspoelt.

Door het toevoegen van water bij of over de mest neemt bij een gelijke stikstofgift de gift (dosering, volume) toe ten opzichte van andere toedieningstechnieken. Hoewel de indringing in de grond bij dunnere mest toeneemt, hoeft bij grote verdunningen en een slecht doorlaatbare bodem de emissie niet verder af te nemen. Inregenen en verdunnen gaan gepaard met extra watergebruik dat verpompt en/of uitgereden moet worden. Dit gaat gepaard met extra werkzaamheden en vermogen. Bij een verdunning van 1:3 moet naast de mest nog drie keer zoveel water toegediend of uitgereden worden.

Bij het mestpendelsysteem en de regenhaspelautomaat wordt de verdunde mest onder druk over een betrekkelijk grote afstand door de lucht gespoten. Vanwege de hoge druk vormen zich fijne druppels die gemakkelijk over grote afstanden verwaaien.

De methoden waarbij grotere oppervlaktes worden bemest en ingeregend met een mesttank of een haspelinstallatie hebben te weinig capaciteit om de beregening direct na de toediening uit te voeren. Deze lage capaciteit heeft tot gevolg dat altijd een deel van de bovengronds, breedwerpig verspreide mest pas op een later tijdstip wordt beregend. In deze periode zal een deel van de emissie al plaatsvinden en dus de uiteindelijke emissiereductie geringer zijn dan gevonden in de metingen. Vergelijking: op bouwland kon tot 2008 de mest bovengronds worden toegediend en in een volgende bewerking worden ingewerkt. De tijd tussen toedienen en onderwerken diende zo kort mogelijk te zijn. Vanaf 2008 is deze methode voor bouwland niet meer toegestaan mede in verband met de handhaving.

De LNV werkgroep 'Richtlijn Emissiearme Mesttoediening' heeft technieken beoordeeld op onder andere hun emissiereductie en controlemogelijkheden op de juiste toepassing van de techniek. Deze werkgroep concludeerde in haar advies (LNV 1992, 1993) dat zowel bij het inregenen als bij toepassing van verdunde mest de handhaving (heterdaad en naderhand) extra aandacht vragen of moeizaam zijn uit te voeren. Bij het inregenen spelen hierbij de hoeveelheid toegepast water, het tijdstip, de duur en de intensiteit van de beregening een grote rol. Bij het verdunnen speelt de mate van verdunning een belangrijke rol.

## **Toevoegmiddelen**

Voor het aanzuren van rundermest zijn 3 methoden te onderscheiden:

1. aanzuren van kleine hoeveelheden rundermest kort voor de toediening op grasland (uitrijvariant);
2. aanzuren van rundermest in een silo (silovariant);
3. aanzuren van rundermest in de mestkelder onder de stal (keldervariant).

Bij de uitrijvariant wordt per keer een hoeveelheid mest ter grootte van de tank van de mestverspreider in korte tijd in een installatie aangezuurd. Daarvoor wordt een product op basis van salpeterzuur aan de mest toegevoegd. Na het aanzuren wordt de mest naar de mestverspreider gepompt en vervolgens op het land bovengronds verspreid.

De emissie na aanzuren van de mest wordt gereduceerd ten opzichte van onbehandelde mest. De reductie was sterk afhankelijk van de pH van de aangezuurde mest. Reductiepercentages van meer dan 80% werden gerealiseerd bij pH-waarden kleiner dan of gelijk aan 5,0. De spreiding in de resultaten bij een pH tussen 5 en 6 was groot.

Het toevoegen van formaldehyde in de vorm van KAPTO verlaagde de pH van de mest tot 5,6-6. Hierdoor werd de emissie gereduceerd, wat ongeveer overeenkwam met wat bij aangezuurde mest werd gevonden.

Ook bij aanzuren en het toepassen van toevoegmiddelen zal handhaving (heterdaad en naderhand controle) extra aandacht vragen of moeizaam zijn uit te voeren (LNV 1992, 1993).

### **Sleepslangenmachine en DGI**

De sleepslangenmachine gaf in 3 metingen een emissiereductie van 25, 46 en 54%. Aan een sleepvoetenmachine zijn meer dan 25 metingen verricht; de gemiddelde emissiereductie bij deze techniek was meer dan 60%. De gemeten emissiereductie bij toepassing van een sleepslangenmachine is lager dan bij toepassing van een sleepvoetenmachine. Van de sleepslangenmachine zijn echter slechts een beperkt aantal metingen beschikbaar en een onderlinge vergelijking met een sleepvoetenmachine is niet gemaakt.

De DGI was in de uitgevoerde experimenten vergelijkbaar met een zodenbemester. Deze techniek vraagt minder trekkracht, maar het injectiesysteem vraagt extra vermogen. Het injecteren van de mest met de DGI gaat niet goed op een harde (drogende) kleigrond. Deze techniek is in Nederland niet verder op de markt gekomen, omdat voldoende alternatieven (sleepvoeten, sleufkouter, zodenbemester) voor handen zijn.

### **Combinatie van technieken**

In een aantal gevallen kan het combineren van technieken of methoden tot extra emissiereductie leiden. De afzonderlijke reducties per techniek mogen hierbij echter niet opgeteld worden.

Het gelijktijdig inregenen en toedienen van 1:1 verdunde mest met de duospraymachine leverde een emissiereductie op van 63-78% ten opzichte van de referentie. Het afzonderlijk inregenen met de duospraymachine of 1:1 verdunnen resulteerde in emissiereducties van respectievelijk 23-25% en 13-21% ten opzichte van de referentie. De combinatie van een sleepslangenmachine en 1:1-verdunde mest gaf een emissiereductie van 65%, terwijl onbehandelde mest toegediend met de sleepslangenmachine een reductie van 54% gaf.

De toediening van licht aangezuurde mest (pH 6,3 en 6,7) met een sleepslangenmachine leverde weinig extra emissiereductie (43-51%) in vergelijking met de sleepslangenmachine en onbehandelde mest (25-41%). De combinatie van de sleepslangenmachine en aangezuurde mest met een lage pH (4,9 en 5,0) had een groot effect op de ammoniakemissie (reductie 90%). Dit effect werd voornamelijk veroorzaakt door het aanzuren tot een lage pH.



## 4. Conclusies

Bij het uitrijden van verdunde mest en het inregenen werd een grote spreiding in de hoogte van de ammoniakemissie gevonden. Bij een verdunning van 1 op 3 (1 deel mest, 3 delen water) varieerde de emissie van 15-40% en was de gemiddelde emissiereductie meer dan 50% (18-73%). Bij het inregenen werden emissies gevonden variërend van 5-70% en emissiereducties van 45-89%. Hierbij speelt de intensiteit en hoeveelheid water een rol bij de mate van emissiereductie. Indien eerst mest wordt uitgereden en vervolgens in een tweede werkgang met een tank water over de mest wordt gesproeid is het van belang dat de tijd tussen mest uitrijden en water toedienen kort is. Voor bouwland is momenteel het in een tweede werkgang onderwerken van de mest niet meer toegelaten. Zowel bij het uitrijden van verdunde mest als bij het inregenen van de mest spelen net zoals bij bovengronds verspreiden van onbehandelde mest de weersomstandigheden tijdens uitrijden en tijdens de opvolgende dagen na de mesttoediening een belangrijke rol bij de uiteindelijke hoogte van de emissie.

Het uitrijden van aangezuurde mest kan een aanzienlijke emissiereductie geven. Door de mest aan te zuren werd een emissiereductie bereikt van 85, 72 en 55% bij respectievelijk een pH 4,5, pH 5,0 en pH 6,0. Van andere toevoegmiddelen aan de mest zijn geen emissiereducerende resultaten beschikbaar.

Bij het inregenen, toepassing van verdunde mest, aanzuren en toepassen van toevoegmiddelen zal de handhaving (heterdaad en naderhand) extra aandacht vragen of moeizaam zijn uit te voeren.

De emissiereductie bij toepassing van een sleepslangenmachine is lager dan bij toepassing van een sleepvoetenmachine. Van de sleepslangenmachine zijn echter slechts een beperkt aantal metingen beschikbaar en een onderlinge vergelijking met een sleepvoetenmachine is niet gemaakt. Het DGI-systeem (Direct Ground Injection) gaf in het uitgevoerde onderzoek vergelijkbare emissiereducties als bij zodenbemesting.

Het combineren van technieken en methoden (verdunde mest inregenen, aangezuurde mest uitrijden met een sleepslangenmachine) kan leiden tot een extra emissiereductie ten opzichte van alleen één emissiereducerende techniek.

De onderzoeken naar de ammoniakemissie bij alternatieven voor het uitrijden van mest (met name verdunnen, inregenen en sleepslangenmachine) zijn veelal fragmentarisch verkennend uitgevoerd. Het aantal metingen is meestal beperkt en vertoont een grote spreiding. Een effect van invloedsfactoren op de hoogte van de emissie bij deze alternatieve mesttoediening is daardoor niet aan te geven. Een totaalanalyse, waarbij ook andere invloedsfactoren op de ammoniakemissie worden meegenomen, zal nodig zijn om een goede inschatting van de verwachte emissie te kunnen maken. Daarbij zullen dan, naar alle waarschijnlijkheid, ook aanvullende onderbouwende metingen noodzakelijk zijn.



# Literatuur

- Bode, M.C.J. de, 1990a.  
Ammoniakemissie-onderzoek bij mestaanwending: de ammoniakemissie bij aanwending van rundveemengmest met behulp van de duospraymachine, DLO-meetploegverslag 34506-2000. DLO, Wageningen.
- Bode, M.C.J. de, 1990b.  
Ammoniakemissie-onderzoek bij mestaanwending: de ammoniakemissie bij aanwending van varkensmengmest met behulp van de duospraymachine, DLO-meetploegverslag 34506-2100. DLO, Wageningen.
- Bode, M.C.J. de, 1990c.  
Ammoniakemissie-onderzoek bij mengmestaanwending: de invloed van FIR-toevoeging, DLO-meetploegverslag 34506-1100. DLO, Wageningen.
- Bussink, D.W., J.V. Klarenbeek, J.F.M. Huijsmans & M. Bruins, 1990.  
Ammoniakemissie bij verschillende toedieningsmethoden van dunne mest aan grasland. Rapport A 89.086. NMI, Den Haag.
- Bussink, D.W. & S.G. Tjalma, 1991.  
Ammoniakemissie bij verschillende toedieningsmethoden van dunne mest aan grasland. Rapport A 90.086. NMI, Den Haag.
- Bussink, D.W., J.F.M. Huijsmans & J.J.M.H. Ketelaars, 1994.  
Ammonia volatilization from nitric-acid-treated cattle slurry, (surface) applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 42: 293-309.
- Hol, J.M.G., 1993a.  
Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie bij mesttoediening: het toedienen van 1:1-, 1:3- en 1:6-verdunde rundermest op grasland, DLO-meetploegverslag 34506-1800. DLO, Wageningen.
- Hol, J.M.G., 1993b.  
Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie bij mesttoediening: het effect van toevoegen van KAPTO, DLO-meetploegverslag 34506-4000. DLO, Wageningen.
- Hol, J.M.G., 1997.  
Ammoniakemissie bij verschillende toedieningsmethoden van dunne rundermest op veengrasland, in voorbereiding. IMAG-DLO Wageningen.
- Huijsmans J.F.M. & J.M.G. Hol, 1994.  
Ammoniakemissie bij verschillende toedieningsmethoden van dunne rundermest op veengrasland, Nota P 94-72. IMAG-DLO Wageningen.
- Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol & M.M.W.B. Hendriks, 1997.  
Ammoniakemissie na toediening van verdunde mest. Het effect van de verdunning van mest en andere factoren op de ammoniakemissie na bovengrondse breedwerpige mesttoediening. IMAG-DLO rapport P 97-75, pp. 13.
- Huijsmans, J.F.M. & J.M.G. Hol, 1998.  
Reduction of Ammonia Emission by Direct Ground Injection (DGI), IMAG-DLO report 98-69, Wageningen, pp. 10.
- Huijsmans, J.F.M., G.J. Monteny, J.M.G. Hol & F.H. Ettema, 1999.  
Ammoniakemissie na bovengronds toedienen van FIR-rundermest, IMAG-DLO Nota P99-24, Wageningen, pp. 16.
- Huijsmans, J.F.M., J.J. Schröder, G.D. Vermeulen, R.G.M. de Goede, D. Kleijn & W.A. Teunissen, 2008.  
Emissiearme mesttoediening; Ammoniakemissie, mestbenutting en nevenaspecten. PRI rapport 195, PRI Wageningen, pp. 66.
- Klarenbeek, J.V., A.J. Tichelaar & C.J.P. Smeets, 1992.  
Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie na bovengronds, breedwerpig toedienen van verdunde en aangezuurde dunne rundermest en stalrest op grasland. Nota P 92-76. IMAG-DLO Wageningen.
- LNV, 1992, 1993.  
Werkgroep Richtlijn Emissiearme Mesttoediening, Adviezen voor erkenning als emissiearme mesttoedieningstechniek. LNV.

Mosquera, J., J.M.G. Hol & P. Hofschreuder, 2005.

Gasvormige emissies uit het melkveebedrijf van de familie Spruit, II Praktijkmetingen na het toedienen van mest. Agrotechnology & Food innovations, Wageningen UR, rapport 565, pp 45.

Mulder, E.M. & J.M.G. Hol, 1992.

Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie bij mesttoediening: het effect van toedienen van dunne rundermest met de duospraymachine op kleigrasland, DLO-meetploegverslag 34506-4600. DLO, Wageningen.

Mulder, E.M. & J.M.G. Hol, 1993a.

Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie bij mesttoediening: het effect van verdunde rundermest in het vroeg voorjaar, DLO-meetploegverslag 34506-5900. DLO, Wageningen.

Mulder, E.M. & J.M.G. Hol, 1993b.

Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie bij mesttoediening: het effect van oligolyse van dunne rundermest, DLO-meetploegverslag 34506-5000. DLO, Wageningen.

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.