

De reductie van de ammoniakemissie uit varkensmest na toediening op bouwland

*In- en onderwerkmethoden en tijdstippen
van de bewerking na de mesttoediening*

Mestsoorten van verschillende huisvestingssystemen

Ing. M.A. Bruins
Ir. J.F.M. Huijsmans

rapport 225



december 1989 - prijs f 7,50

De reductie van de ammoniakemissie uit varkensmest na toediening op bouwland

*In- en onderwerkmethoden en tijdstippen
van de bewerking na de mesttoediening*

Mestsoorten van verschillende huisvestingssystemen

Ing. M.A. Bruins
Ir. J.F.M. Huijsmans

INHOUD

1	INLEIDING	3
2	DOEL VAN HET ONDERZOEK	5
3	MEETMETHODE	6
3.1	Meting van ammoniakemissie tijdens het uitrijden	6
3.2	Meting van ammoniakemissie na het uitrijden	6
3.2.1	Windtunnelmethode	6
3.2.2	Micrometeorologische methode	8
3.2.3	Windtunnelmethode - Micrometeorologische methode	10
4	IN- EN ONDERWERKMETHODEN VAN DE MEST	12
4.1	Onderzoekopzet	12
4.2	Methode grondbewerking voor het in- of onderwerken van de mest	12
4.3	Onderzoeklocatie en grondsoort	13
4.4	Mestsamenstelling en gift	13
4.5	Weersomstandigheden	13
4.6	Resultaten	14
4.6.1	Emissie tijdens het uitrijden	14
4.6.2	Emissie na het uitrijden; meting volgens de micrometeorologische methode	14
4.6.3	Emissie na het uitrijden; meting volgens de tunnelmethode	20
5	HUISVESTINGSSYSTEMEN EN MESTSOORTEN	22
5.1	Onderzoekopzet	22
5.2	Resultaten	22
6	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	25
7	DISCUSSIE	26
	LITERATUUR	27
BIJLAGE 1	Onderwerkexperimenten op kleigrond. Mestgiften en analyses.	
BIJLAGE 2	Onderwerkexperimenten op zandgrond. Mestgiften en analyses.	
BIJLAGE 3	Experimenten met mest uit verschillende huisvestings-systemen. Mestgiften en analyses.	
BIJLAGE 4	De neerslag (mm) en de gemiddelde luchttemperatuur (°C) weergegeven per periode; de gegevens zijn afkomstig van het weerstation te Lelystad.	

1 INLEIDING

Ammoniak is een van de componenten die bijdraagt aan de zure regen. Volgens Buijsman et al. (1985) is de meeste ammoniak in de lucht afkomstig uit de landbouw. De Winkel et al. (1988) vinden uit berekeningen dat binnen de landbouw het bovengronds toedienen van mest de belangrijkste bron van ammoniakemissie is.

Bij het bovengronds toedienen van mest is onderscheid te maken in de emissie die ontstaat **tijdens** het uitrijden en die **na** het uitrijden. Hoewel de eerstgenoemde, door de grote "spuitwolk" achter de mestverspreider, het meest tot de verbeelding spreekt, is ze van ondergeschikt belang (Bruins en Cappon; 1988). Uit onderzoek van Pain en Klarenbeek (1988) blijkt dat de emissie tijdens het uitrijden minder dan 1% is van de totaal opgebrachte ammoniumstikstof. Deze lage emissies worden bevestigd door Bruins (1990), die in een later onderzoek een emissie van 0,5% van de totaal opgebrachte ammoniumstikstof vaststelt.

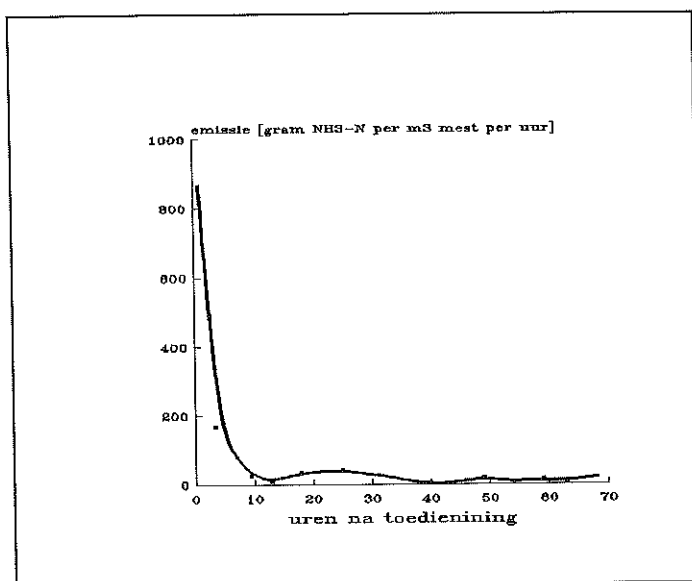
Op basis van de voorliggende resultaten kan worden geconcludeerd dat bij het bovengronds toedienen van dierlijke mest de grootste ammoniakuitstoot ontstaat **nadat** de mest is uitgereden.

Vermindering van de emissie, nadat de mest bovengronds is toegediend, kan het best worden gerealiseerd door de mest in de grond te brengen of met de grond te vermengen. Op bouwland is dit mogelijk door toepassing van een grondbewerking direct na de mesttoediening. De verschillende soorten grondbewerking zullen een verschil in emissiereductie geven. Bij onderploegen wordt de mest geheel afgedekt, bij een bewerking met een rotorkoepel vindt een intensieve vermenging in de bovenlaag plaats.

In het "Besluit gebruik dierlijke meststoffen" is de maatregel opgenomen dat dierlijke mest op onbeteeld bouwland uiterlijk de dag na aanwending in- of ondergewerkt dient te worden. De methode van onderwerken is hierbij niet aangegeven.

In dit onderzoek is nagegaan wat het effect van verschillende soorten grondbewerking is op de reductie van de ammoniakemissie na bovengrondse mesttoediening. Gezien het snelle verloop van de emissie de eerste uren na aanwending (figuur 1), is in het onderzoek tevens het tijdstip van grondbewerking nadat de mest bovengronds is toegediend gevarieerd.

Naast het tijdstip en de methode van grondbewerking spelen bij de ammoniakemissie ook de mestsoort en de samenstelling een belangrijke rol. De samenstelling is onder andere afhankelijk van het huisvestingssysteem van de dieren en het daarbij behorend management en de opslag van de mest. In een afzonderlijk onderzoek zijn veldemissies bepaald van bovengronds toegediende mest uit verschillende huisvestingssystemen van het PV (Proefstation voor de Varkenshouderij).



Figuur 1 Verloop van de emissiesnelheid na bovengrondse toediening van varkensmest (Pain et al., 1988).

2 DOEL VAN HET ONDERZOEK

Het bepalen van de ammoniakemissie na bovengrondse mesttoediening op bouwland en het aangeven hoe die emissie mogelijk kan worden gereduceerd. Hiertoe zijn achtereenvolgens onderzocht:

- verschillende methoden van grondbewerking voor het bedekken of mengen van de mest in de grond;
- het tijdstip van de grondbewerking, nadat de mest bovengronds is toegediend;
- mestsoorten uit verschillende huisvestingssystemen.

Op basis van genoemde vraagstelling om de ammoniakverliezen te reduceren door het in- of onderwerken van mest is in 1988 gedurende week 35 tot en met 40 onderzoek uitgevoerd in samenwerking met de Engelse instellingen IGAP¹, AFRC² en ADAS³.

Bij het onderzoek is niet alleen aandacht besteed aan de reductie van ammoniakemissies bij mesttoediening maar ook aan de geuremissies. In dit rapport worden de ammoniakemissies beschreven; de resultaten van het geuronderzoek worden aan de orde gesteld door Pain et al. (1990).

¹ Institute for Grassland and Animal Production, Hurley Maidenhead Berkshire.

² Institute for Agricultural Engineering Research, Wrest Park, Silsoe.

³ Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Agricultural Development Advisory Service, Wrest Park, Silsoe.

3 MEETMETHODE

3.1 Meting van ammoniakemissie tijdens het uitrijden

De ammoniakemissie, die ontstaat tijdens het uitrijden met een mestverspreider, kan worden berekend met behulp van de volgende formule:

$$E = A \int_{t_0}^{t_n} (u+v) \cdot (c_m - c_a) dt \quad [1]$$

Hierbij is A de dwarsdoorsnede van de mestwolk achter de mestverspreider, u de gemiddelde windsnelheid en v de gemiddelde rijsnelheid. c_m en c_a hebben betrekking op respectievelijk de ammoniakconcentratie in de lucht achter de mestverspreider en de achtergrondconcentratie. De variabelen u, v, c_m en c_a uit formule 1 dienen geregistreerd te worden tijdens de metingen. De integratielimieten t_0 en t_n geven het begin en het einde van de monsternamperiodes weer.

In geval van een mengmestverspreider uitgerust met de traditionele ronde spreidplaat, is aangenomen dat de dwarsdoorsnede van het spuitpatroon een halve cirkel is, zodat geldt:

$$A = 1/2 \pi r^2 \quad [2]$$

Voor het vaststellen van de emissie tijdens het uitrijden, is een frame vervaardigd dat voorop de bumper van een Landrover is gemonteerd. Op het frame zijn 16 ammoniak- en 5 geurmonsternamepunten aangebracht (figuur 2), die zijn verbonden met evenveel monsternamepompen in de Landrover. Door met het monsternamframe zo dicht mogelijk achter de mestwolk aan te rijden, kan een representatief monster worden verzameld van de ammoniak- en geuremissie. Wanneer het mestverspreiden recht tegen de wind in wordt uitgevoerd, kan het totale luchtvolume, dat tijdens de monsternam door het frame heen stroomt, als volgt worden berekend:

$$\text{luchtvolume (m}^3\text{)} = (\text{rijsnelheid (m.s}^{-1}\text{)} + \text{windsnelheid (m.s}^{-1}\text{)}) \times \text{dwarsdoorsnede van het frame (m}^2\text{)} \times \text{uitrijtijd (s)}.$$

Vermenigvuldiging van het luchtvolume met de ammoniakconcentratie geeft de ammoniakemissie (kg NH_3 -N) bij een bepaalde mestgift, zodat de emissie uitgedrukt kan worden als kg NH_3 -N per m^3 mest.

3.2 Meting van ammoniakemissie na het uitrijden

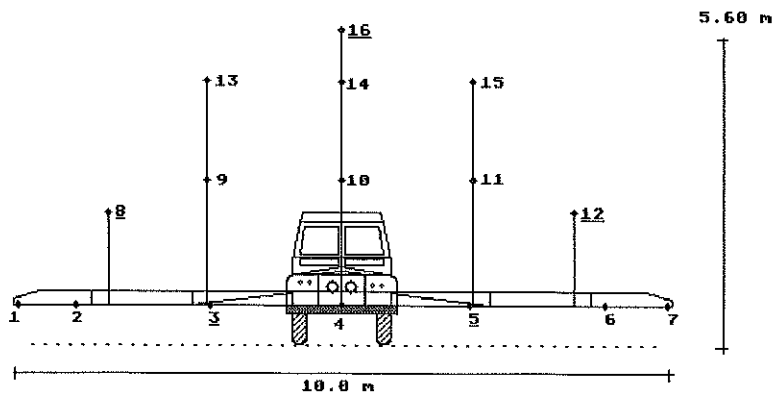
Voor het vaststellen van de ammoniakemissie na het uitrijden van de mengmest zijn twee methoden toegepast nl.:

- de windtunnelmethode volgens Lockyer (1984) en
- de micrometeorologische methode volgens Denmead (1983).

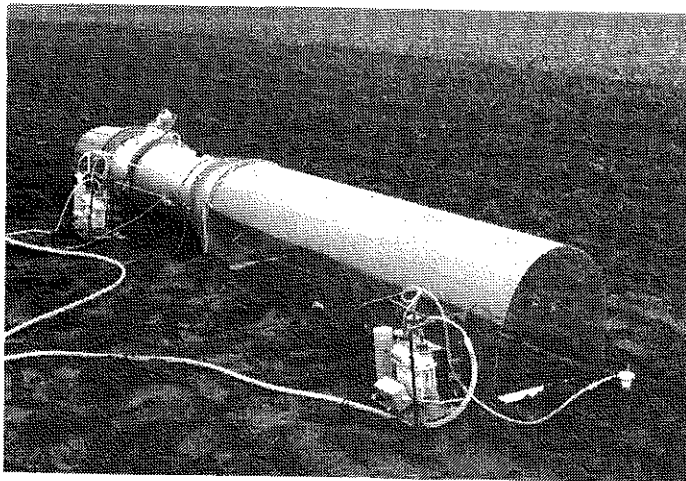
3.2.1 Windtunnelmethode

In het onderzoek naar de beperking van ammoniakemissies na het uitrijden zijn tunnels ingezet, zoals weergegeven in figuur 3. Het tunneldeel bestaat uit een doorzichtige rondgebogen plaat met een grondoppervlak van 1 m^2 ($0,50 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}$). De afstand tussen de bodem en de top bedraagt $0,45 \text{ m}$. Aan de tunnel is een ventilator met variabel toerental gemonteerd in een plaatstalen behuizing. De regeling van het toerental vindt plaats via instel-

lingen op een regeltransformator. De registratie van de verkregen windsnelheid in de tunnel verloopt via een vleugelradanemometer, die is gekoppeld aan een HP 3421 datalogger. Voor de bemonstering van de ammoniak zijn gaswasflesjes gebruikt, die zijn gevuld met 20 ml 0,020 M HNO_3 , waardoor de aangezogen lucht wordt geleid. Zowel van de ingaande als van de uitgaande lucht zijn monsters genomen voor ammoniakanalyse. De gaswasflesjes zijn zo dicht mogelijk bij de in- en uitlaat van de tunnel geplaatst om de mogelijke ammoniakverliezen, als gevolg van adsorptie in toevoerleidingen, tot een minimum te beperken.



Figuur 2 Monsternamesysteem voor meting van emissies tijdens het uitrijden.



Figuur 3 Windtunnel met gaswasflessen en luchtmonsternamesysteem.

3.2.2 Micrometeorologische methode

Door Denmead (1983) is een methode ontwikkeld voor de bepaling van emissie bij relatief kleine proefvelden in de open lucht. Deze methode, ook wel de micrometeorologische massabalansmethode geheten, berust op de vergelijking van de 'binnenkomende' ammoniakstroom (flux) met de 'uitgaande' stroom. Beide fluxen worden gemeten in een denkbeeldig verticaal vlak dat loodrecht staat op de gemiddelde windrichting (figuur 4). Op elke hoogte boven het proefveld is de hoeveelheid ammoniak, die door het denkbeeldige benedenwindse vlak stroomt, gelijk aan $u(z) \cdot c_g(z)$. Hierbij is $u(z)$ de windsnelheid als functie van de hoogte en $c_g(z)$ de ammoniakconcentratie ten opzichte van de achtergrond eveneens als functie van de hoogte. De totale flux wordt verkregen door integratie over de hoogte volgens de formule:

$$F = \frac{1}{x} \int_{Z_0}^{Z_m} u(z) \cdot c_g(z) \cdot dz \quad [3]$$

waarin F = de totale ammoniakemissie ($\text{ug} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),
 x = de 'fetch' (m). Dit is de afstand die de wind heeft afgelegd boven het proefveld,
 Z_m = de hoogte van de emissielaag (m),
 Z_0 = de ruwheidslengte (m),
 $u(z)$ = de windsnelheid op hoogte z ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),
 $c_g(z)$ = de ammoniakconcentratie op hoogte z ($\text{ug} \cdot \text{m}^{-3}$).

Voor een juiste benadering van de totale emissie, behoren de windsnelheid en de ammoniakconcentratie continu te worden gemeten.

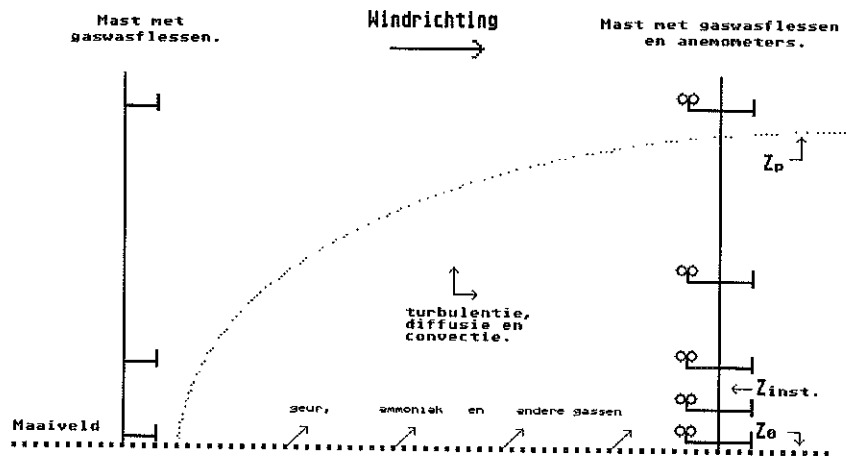
Wat de waarde van Z_0 en Z_m betreft, kan het volgende worden opgemerkt: de ruwheidslengte Z_0 is gedefiniëerd als de hoogte waarop de windsnelheid de waarde 0 bereikt. Deze wordt berekend met behulp van het logaritmisch windprofiel van de gemeten windsnelheid op meerdere hoogten. De emissielaag Z_m is in principe oneindig hoog. Dit is een onpraktisch uitgangspunt en daarom wordt meestal de hoogte gemeten waarop de ammoniakconcentratie gelijk wordt aan de achtergrondconcentratie. Z_m wordt ook wel benaderd door de empirische formule van Sutton (1953):

$$Z_m = x^{7/9} \quad [4]$$

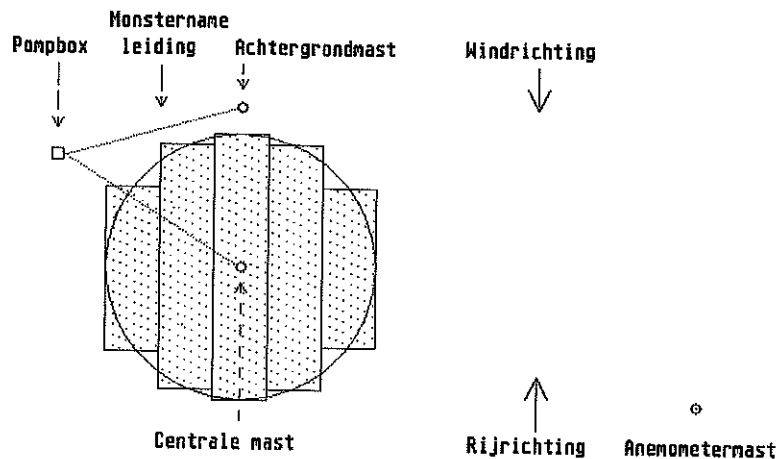
Teneinde Z_m en de ammoniakflux van het proefveld te kunnen bepalen, dient vanuit meettechnische overwegingen, het wind- en concentratieprofiel minimaal op 5 verschillende hoogtes te worden vastgelegd. In het ideale geval is de bovenste hoogte van de centrale meetmast zodanig gekozen, dat de ammoniakconcentratie niet boven de achtergrondconcentratie, gemeten aan de bovenwindse

mast, uitkomt. De waarde van Z_m kan in dat geval via interpolatie uit het concentratieprofiel worden berekend.

Bij de proefopzet volgens de micrometeorologische methode wordt een cirkelvormig proefveld aangelegd met een meetmast in het centrum. Hierbij heeft, onafhankelijk van de heersende windrichting, de afstand over het bemeste veld tot de meetmast steeds dezelfde waarde. Deze is gelijk aan de straal van het veld. De bovenwindse mast wordt aan de rand van de cirkel gezet, in de sector waar de wind vandaan komt. Figuur 5 toont een overzicht van de opstelling van een meting volgens de micrometeorologische methode.



Figuur 4 Principe van de micrometeorologische methode.



Figuur 5 Proefveldopstelling voor de micrometeorologische methode.

Voor het meten van de ammoniakemissie is gebruik gemaakt van verschillende masten met zijarmen nl.:

- de meteomast.

Deze mast, voor het opnemen van het windprofiel bij de proefvelden, is van het IGAP. Aan de 6 zijarmen van de mast zijn cup-anemometers bevestigd op de hoogtes 0,35; 0,75; 1,3; 1,9; 2,5 en 3,3 m. Het analoge signaal van deze meters is opgenomen in een datalogger (Squirrel; 7 kanalen). De gemiddelde windsnelheid per hoogte is berekend en als drie-minuut-gemiddelde vastgelegd;

- de centrale meetmast (middenin het bemeste veld).

Deze IMAG-mast komt overeen met de bovengenoemde mast, alleen zijn de anemometers vervangen door gaswasflesjes, gevuld met 20 ml absorptievloeistof. De hoeveelheid doorgevoerde lucht is geregistreerd door een droge gasmeter;

- de achtergrondmast (bovenwindse mast).

Dit type mast van het IMAG komt overeen met de centrale meetmast met dit verschil dat slechts op 3 hoogtes lucht is bemonsterd. De betreffende monsternamenpunten waren op 0,35; 1,3 en 3,3 m hoogte boven het maaiveld geplaatst.

Door het degressieve verloop van de ammoniakemissie in de tijd (figuur 1), zijn de monsternames uitgevoerd gedurende de tijdperiodes 0-1; 1-3; 3-6; 6-12; 12-24; 24-36; 36-48 en 48-96 uren na het moment van uitrijden van de mest. Tevens zijn op dat moment ook de windsnelheidsgegevens in de datalogger uitgelezen. Tijdens een geplande grondbewerking is de monstername tijdelijk stopgezet.

Het analyseren van het ammoniumgehalte in alle vloeistofmonsters is met een ionchromatograaf (Waters, proteïn-pak colom sp 5pw) uitgevoerd.

3.2.3 Windtunnelmethode - Micrometeorologische methode

Beide methoden zijn in het onderzoek toegepast om hun specifieke voor- en nadelen. Bij een tunnelproef zal men geen last hebben van verregening, zodat de data bruikbaar zijn voor vergelijking en trendanalyse. Bovendien is turbulentie van de wind, die vrijwel zeker de vervluchtiging uit de NH_3 -vloeistoffase (mest) naar gasfase (lucht) beïnvloedt, uitgesloten. Het gebruik van de data voor een absolute emissieberekening is moeilijker door de afwijkende omstandigheden ten opzichte van het open veld. De opschaling van resultaten uit een tunnelonderzoek (1 m^2) naar praktijkemissies (1 ha) zal problemen geven.

Bij de micrometeorologische methode worden data verkregen, die voor een absolute emissieberekening toepasbaar zijn. De verkregen uitkomsten gelden echter alleen voor het weertype tijdens de proefperiode. Er moet rekening worden gehouden met het gevaar van o.a. verregenen. Het opschalingsprobleem is minder groot dan bij de tunnelmethode.

Vergelijkend onderzoek tussen beide meetmethoden is ondermeer uitgevoerd door Ryden en Lockyer (1985). Zij concluderen dat de resultaten van beide methoden goed met elkaar in overeenstemming zijn. Dit onder voorwaarde dat de windsnelheid in de tunnel de werkelijke windsnelheid volgt. Deze conclusie is niet in overeenstemming met de uitkomst van Amerikaans onderzoek. Ferguson et al. (1988) tonen aan dat de resultaten van de

tunnelmethode een factor 10-15 lager liggen dan die van de micrometeorologische methode. In hoeverre alleen de verschillen in windsnelheid tussen de tunnels en het veld hier debet aan zijn, is niet aangegeven.

4 IN- EN ONDERWERKMETHODEN VAN DE MEST

4.1 Onderzoekopzet

Binnen een meetcyclus is met name het effect van de verschillende grondbewerkingen op de emissiereductie onderzocht. De keuze van de werktuigen staat beschreven in paragraaf 4.2. In de verschillende proeven is het tijdstip van de bewerking na de bovengrondse toediening gevarieerd.

Deze tijdstippen zijn: 0 uur,
3 uur en
6 uur na de mesttoediening.

Alle experimenten zijn uitgevoerd naast een referentieveld, waarop na mesttoediening geen grondbewerking plaatsvond. In de proeven is varkensmest toegediend. De velden zijn zoveel mogelijk gelijktijdig aangelegd in verband met de variërende weersomstandigheden. Hierdoor blijft een goede vergelijking tussen de verschillende objecten mogelijk. De emissies zijn gemeten met de micrometeorologische methode en met tunnels. In tabel 1 is een compleet overzicht gegeven van het onderzoek.

Ten behoeve van het modelonderzoek voor ammoniakemissie van het IB (Instituut voor Bodemvruchtbaarheid) zijn grondmonsters genomen. Deze zijn verzameld bij de experimenten gemeten volgens de micrometeorologische methode.

4.2 Methode grondbewerking voor het in- of onderwerken van de mest

Het onderwerken van mest moet de ammoniak- en geuremissies minimaliseren.

Bij mestinjectie bijvoorbeeld wordt de mest geheel onder de grond gebracht, waardoor het contact met de omringende lucht minimaal is. Op onbeteeld bouwland zijn er meerdere mogelijkheden voor het in- of onderwerken van de mest. De methode van grondbewerking is meestal afhankelijk van de grondsoort, waarbij tevens onderscheid wordt gemaakt tussen voorjaars- en najaarsgrondbewerking.

De meest voor de hand liggende grondbewerking, waarbij het contact van de mest met de omringende lucht wordt geminimaliseerd, is ploegen. De mest wordt hierbij geheel met de grond bedekt. Andere grondbewerkingen hebben vaak een minder bedekkend en meer grondmengend effect.

Naast het emissiebeperkend effect van de grondbewerking is het ook van belang dat de mest als meststof bereikbaar blijft voor een volgend gewas. De mest mag dus niet te diep worden ondergewerkt in een zone die niet of pas in een laat stadium bereikbaar is voor het gewas.

Uit het ammoniakemissieverloop in de tijd (figuur 1) blijkt dat de emissie vlak na de toediening het hoogst is en vervolgens afneemt. Ook absoluut gezien treedt in deze periode de meeste emissie op. Daarom moet het in- of onderwerken van de mest snel na het uitrijden worden uitgevoerd, en is het noodzakelijk dat de bewerkingscapaciteit van het werktuig voldoende groot is (Huijsmans en Klarenbeek; 1988).

Naast injectie en onderploegen zijn ook bewerkingen mogelijk die de grond ondieper, meer in de toplaag, mengen. Door menging zal namelijk, afhankelijk van de intensiteit, een deel van de mest niet meer in contact staan met de omringende lucht. De emissie wordt beperkt terwijl de meststof in de toplaag blijft. Boven-

dien zou bij intensieve menging door vergroting van het contact-oppervlak mest-gronddeltes een snelle binding aan de grond kunnen plaatsvinden en daarmee een beperking van de emissie. Deze laatste hypothese zal echter door bodemkundig onderzoek moeten worden aangetoond.

Samenvattend spelen de volgende factoren een rol bij de keuze van de grondbewerking voor het in- of onderwerken van dierlijke mest op onbeteeld bouwland:

- minimalisering van het contact van de mest met de omringende lucht;
- menging van de mest in de grond;
- plaats van de mest in de grond na de grondbewerking; bereikbaarheid als meststof voor de plant;
- grondsoort;
- capaciteit grondbewerkingswerktuig bij het onderwerken in een tweede werkgang na de mesttoediening.

Rekening houdend met deze factoren is bij de proefopzet gekozen voor de volgende werktuigen:

Kleigrond	Zandgrond
- stoppelploeg (15-20 cm)	- wentelploeg (25-30 cm)
- vaste-tandcultivator	- triltandcultivator met egalisatierol
- rotorkoepel	- bladenfrees

4.3 Onderzoeklocatie en grondsoort

Het onderzoek is uitgevoerd op een perceel bouwland (LZ17) ter beschikking gesteld door de RIJP (Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders). De grondsoort van het betreffende perceel is jonge zeeklei met in de bovenste 20-30 cm een lutumgehalte van 25-30% en een organisch stofgehalte van 3,75-4,5%. Het CaCO_3 -gehalte bedroeg 8,2%.

De koolzaadstoppel van het voorgaande gewas was 5-10 cm lang. Voorafgaand aan de mesttoediening is geen stoppelbewerking uitgevoerd.

De objecten met de micrometeorologische methode zijn aangelegd op een onderlinge afstand van minimaal 50 meter.

Gelijktijdig met de proeven in de polder, waarbij zowel met tunnels als met de micrometeorologische methode is gemeten (M1-M5; T1-T3), zijn proeven op zandgrond uitgevoerd. Deze zijn aangelegd op de proeftuin van het IMAG te Wageningen, waarbij alleen met tunnels is gemeten (T4-T8).

4.4 Mestsamenstelling en gift

Bij het onderzoek is homogene varkensmest uitgereden, waarvan de samenstelling en opgebrachte hoeveelheden staan vermeld in bijlage 1 en 2. Bij alle experimenten is uitgegaan van de maximaal toegestane gift van 250 kg P_2O_5 voor bouwland. Dit komt overeen met ongeveer 60 m³ varkensmest per hectare. Ook voor de tunnelmetingen is deze gift aangehouden.

4.5 Weersomstandigheden

Het weer tijdens de proefperiode is wisselvallig geweest met veel regen en harde wind. De gegevens over temperatuur en regenval zijn betrokken van het weerstation te Lelystad. De datalogger voor het registreren van de windsnelheden is twee keer uitgevallen. In die periodes is gebruik gemaakt van de

geregistreeerde windsnelheden op 10 meter hoogte te Lelystad. Deze zijn met het logaritmisches windprofiel omgerekend naar de hoogtes op de meteomast. Gedurende de experimenten M1 en M3 is in de eerste 24 uur geen regen gevallen. Bij M2 is, in de periode 1-3 uur na het uitrijden, 4,5 mm regen gevallen, bij M4 in het eerste uur na de mesttoediening 4 mm. Voor een overzicht van de weergegevens wordt verwezen naar bijlage 4.

4.6 Resultaten

4.6.1 Emissie tijdens het uitrijden

De ammoniakemissies tijdens het uitrijden zijn vier keer gemeten. In de experimenten met onderwerken is de emissie van varkensmest gemeten; in het experiment met de verschillende mestsoorten (M5) alleen de emissie van de vloeibare fractie. In tabel 2 zijn de meetresultaten gegeven. Hieruit blijkt dat de emissie niet boven 0,5% van de totaal opgebrachte ammoniumstikstof uitkomt. Vergelijkbare lage emissies zijn gevonden door Pain et al. (1988). De emissie van de vloeibare fractie ligt hoger dan de metingen aan de varkensmest, maar is nog steeds zeer laag.

Tabel 2 De totaal geëmitteerde ammoniak tijdens het uitrijden, uitgedrukt in procenten van de totaal op het land gebrachte Kjeldahl-stikstof (NKj) respectievelijk ammoniumstikstof ($\text{NH}_4\text{-N}$).

Exp. nr.	Totale $\text{NH}_3\text{-N}$ emissie ($\text{kg NH}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Verlies in % van $\text{NH}_4\text{-N}$ gift	NKj gift
M1	0,19	0,05	0,04
M2	0,24	0,07	0,04
M4	0,17	0,05	0,03
M5 vloeibare fractie	0,65	0,27	0,24

4.6.2 Emissie na het uitrijden; meting volgens de micrometeorologische methode

De totale ammoniakverliezen over 96 uur zijn weergegeven in tabel 3. De verliezen zijn hierin vermeld als hoeveelheid geëmitteerde ammoniak per hectare en het percentage van de gift ammoniumstikstof respectievelijk Kjeldahl-stikstof. Tevens is het emissiereductiepercentage berekend, dat kan worden behaald bij de verschillende methoden van onderwerken. Dit percentage is berekend ten opzichte van de niet ondergewerkte mest. Het ammoniakverlies van de niet bewerkte controlevelden varieerde van 84,7 tot 206,7 $\text{kg NH}_3\text{-N}$ per hectare. Dit komt overeen met 23 tot 58% van de ammoniumstikstofgift. Deze resultaten zijn in overeenstemming met metingen aan varkensmest door Pain et al. (1988). De verschillen tussen de experimenten zijn een gevolg van veranderde bodem- en weercondities. Het relatief effect van de drie verschillende onderwerkmethoden op de emissiereductie was constant voor alle experimenten. De stoppelploeg was alle keren het effectiefst, gevolgd door de rotorkoeg en de vaste-tandcultivator.

Daar de experimenten gespreid waren in de tijd, is het moeilijker conclusies te trekken bij de tijdstippen waarop de mest in- of ondergewerkt is. Toch geven de resultaten aan dat het uitstellen

van onderwerken tot 3 à 6 uur na de toediening nog steeds een reductie van de emissie geeft. Om een reductie van 50% te bereiken kon het onderwerken met de stoppelploeg worden uitgesteld tot 6 uur na de toediening en een bewerking met een rotorkoepel tot 3 uur. Het effect van de bewerking met een vastetandcultivator was klein. Door bodemcondities resulteerde deze bewerking in een openbrekend effect van de grond en een grove ongelijkmatige ligging. Hierdoor bleef veel mest aan het oppervlak liggen.

Bij het experiment met direct onderwerken (M1) bleek de stoppelploeg de hoogste absolute emissiereductie te bereiken, gevolgd door de rotorkoepel. De reductie na de bewerking met de cultivator was mede zo laag daar de bewerking dwars op de sporen in het veld is uitgevoerd. Dit resulteerde in een zeer onregelmatige ligging van de grond en veel mest aan het oppervlak.

De experimenten waarbij de bewerking drie uur na de toediening plaatsvond (M2 en M3), geven beide een gelijk beeld wat de emissiereductiepercentages betreft voor de verschillende bewerkingen. De totale emissie van het onbewerkte veld in experiment M2 was echter slechts 23% van de $\text{NH}_4\text{-N}$ gift tegenover van 48% in experiment M3. Dit verschil is mede een gevolg van de regenval gedurende M2.

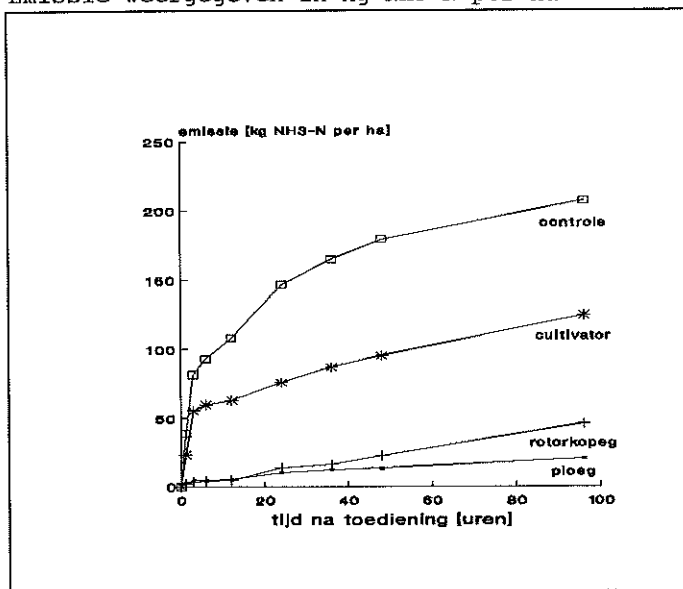
De regen heeft ook de totale ammoniakemissie gereduceerd in experiment M4, waar 6 uur na de mesttoediening de bewerking plaatsvond. Zelfs hier is nog een emissiereductie te bereiken met een bewerking, hoewel de verschillen tussen de in- of onderwerkmethoden minder duidelijk zijn, daar reeds een groot deel van de emissie heeft plaatsgevonden de eerste uren na de toediening.

Tabel 3 De ammoniakemissie gedurende een experiment van 96 uur, waarbij op verschillende tijdstippen na uitrijden de mest in- of ondergewerkt is; meting volgens de micrometeorologische methode.

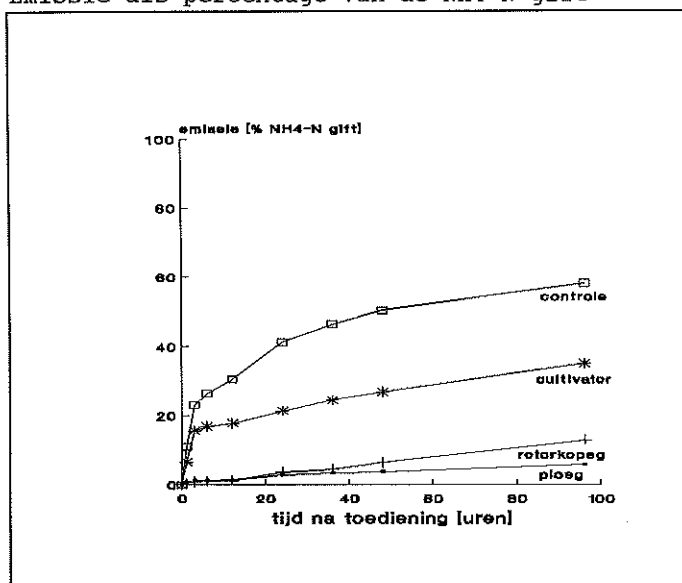
Exp. nr.	Tijdstip	Verlies (kg $\text{NH}_3\text{-N}$.ha ⁻¹)	Verlies in $\text{NH}_4\text{-N}$ gift	% van NKj gift	Reductie- percentage
M1	direct ploeg	20,6	5,9	4,2	90
	rotorkoepel	45,7	12,9	9,2	78
	cultivator	124,3	35,0	24,9	40
	0-object	206,7	58,2	41,3	--
M2	na 3 uur ploeg	27,2	7,4	4,6	68
	rotorkoepel	38,4	10,3	6,4	55
	cultivator	56,9	15,4	9,6	33
	0-object	84,7	23,0	14,3	--
M3	na 3 uur ploeg	29,0	10,5	6,9	78
	rotorkoepel	57,5	20,2	13,3	58
	cultivator	93,1	30,4	20,0	37
	0-object	139,2	48,5	31,9	--
M4	na 6 uur ploeg	46,9	13,5	9,0	54
	rotorkoepel	58,5	16,7	11,0	43
	cultivator	67,7	19,3	12,8	34
	0-object	101,9	29,1	19,3	--

Figuur 6 Ammoniakemissie bij het direct onderwerken van de mest (M1).

Emissie weergegeven in kg NH₃-N per ha

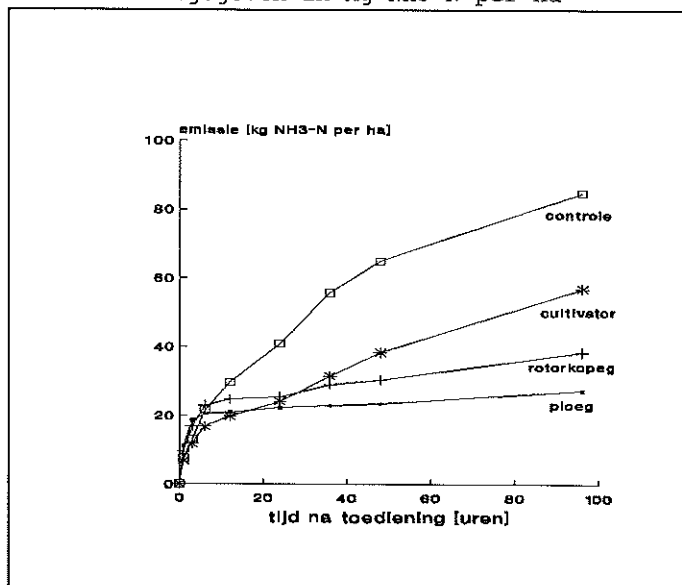


Emissie als percentage van de NH₄-N gift

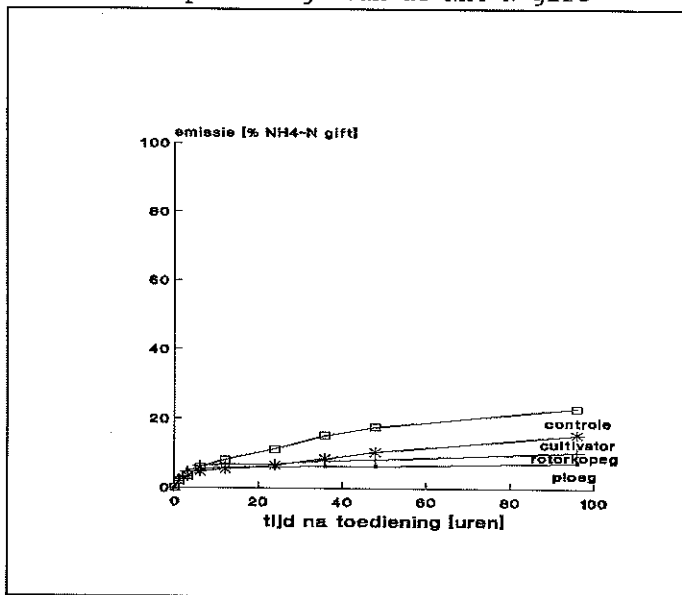


Figuur 7 Ammoniakemissie bij het na 3 uur onderwerken van de mest (M2).

Emissie weergegeven in kg NH₃-N per ha

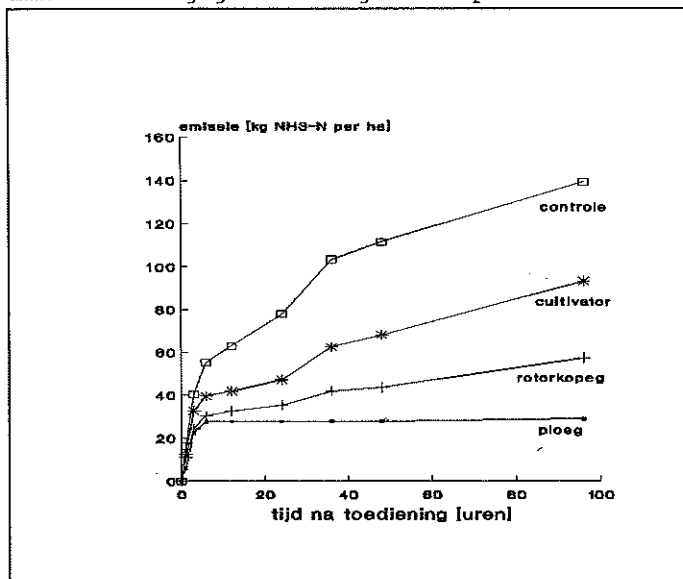


Emissie als percentage van de NH₄-N gift

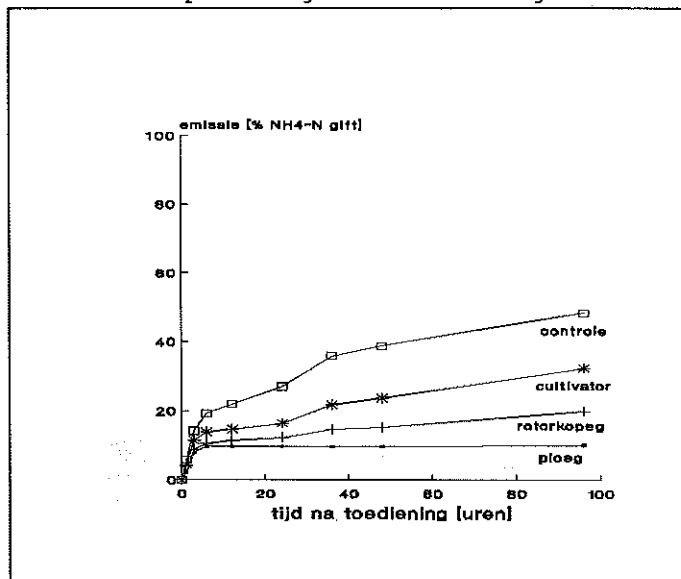


Figuur 8 Ammoniakemissie bij het na 3 uur onderwerken van de mest (M3).

Emissie weergegeven in kg NH₃-N per ha

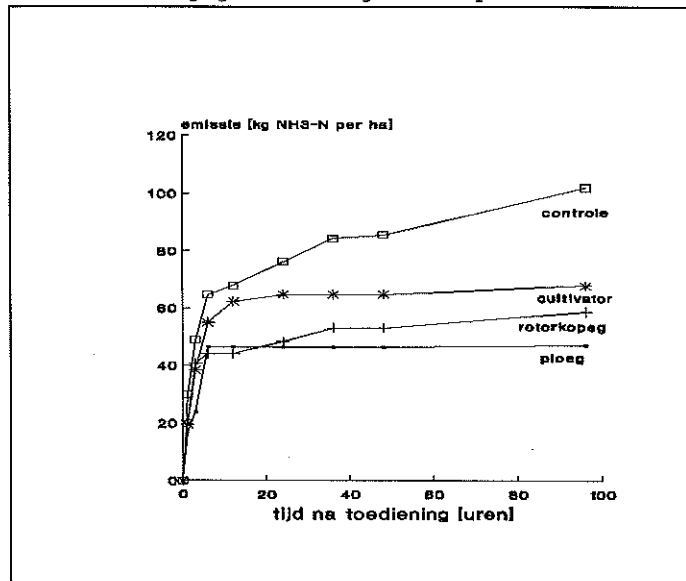


Emissie als percentage van de NH₄-N gift

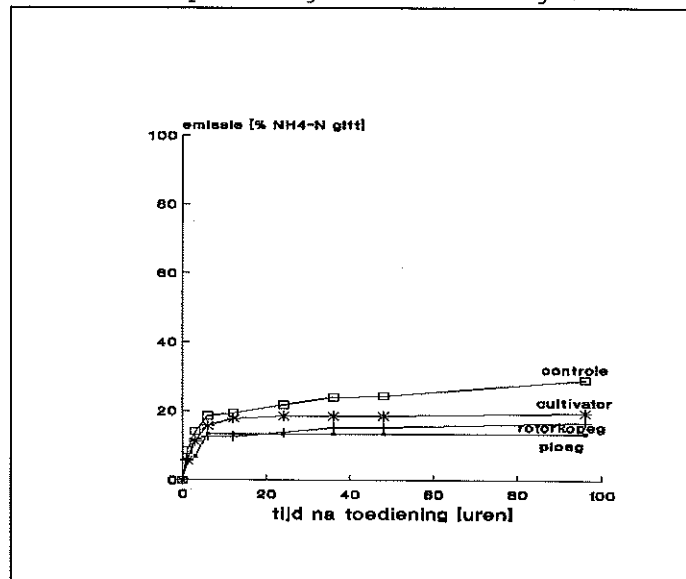


Figuur 9 Ammoniakemissie bij het na 6 uur onderwerken van de mest (M4).

Emissie weergegeven in kg NH₃-N per ha



Emissie als percentage van de NH₄-N gift



De cumulatieve ammoniakverliezen over 96 uur zijn weergegeven in de figuren 6 tot en met 9. In experiment M1 (figuur 6) bleef de emissie doorgaan tijdens de duur van het experiment. De emissiesnelheid van het veld met de cultivatorbewerking was aanzienlijk hoger dan bij de objecten met de stoppelploeg en rotorkoeg. In de experimenten M2 en M3 (figuren 7 en 8), duurde de emissie van de velden bewerkt met een rotorkoeg en cultivator voort, terwijl verdere emissie na ploegen werd voorkomen. Als na 6 uur de mest werd ondergewerkt (M4) (figuur 9), bleven het rotorkop- en cultivatorveld ammoniak emitteren. Bij het geploegde veld stopte de emissie.

4.6.3 Emissie na het uitrijden; meting volgens de tunnelmethode

Gelijktijdig met de metingen op kleibouwland volgens de micro-meteorologische methode zijn metingen uitgevoerd met behulp van tunnels. De laatste hebben zowel op klei- als zandgrond plaatsgevonden.

Experimenten op kleigrond

De resultaten van de tunnelmetingen op kleibouwland staan vermeld in tabel 4. Deze emissiewaarden van de onbewerkte velden zijn lager dan die volgens de micrometeorologische methode. Ook bij deze metingen bleek dat ploegen de meest effectieve methode is voor het reduceren van de ammoniakverliezen. Een reductiepercentage van 94% is bereikt bij het direct onderwerken na toediening. Tussen de bewerkingen met rotorkoeg en cultivator is een klein verschil gemeten; beide zijn steeds minder effectief dan ploegen. Na 6 uur onderwerken met rotorkoeg en vastetandcultivator (T3) geeft een grotere emissiereductie dan de bewerking na 3 uur (T2). Hierbij moet worden opgemerkt dat bij een lage emissie van het niet bewerkte veld (T2), meetfouten relatief zwaar meetellen bij de berekening van de emissiereductie.

Tabel 4 De ammoniakemissie bij de tunnelmetingen op kleigrond, waarbij op verschillende tijdstippen na uitrijden een grondbewerking heeft plaatsgevonden.

Exp. nr.	Tijdstip onderwerken		Verlies (kg NH ₃ -N.ha ⁻¹)	Verlies in NH ₄ -N gift	% van NKj gift	Reductie- percentage
T1	direct	ploeg	6,0	1,8	1,3	94
		rotorkoeg	30,0	9,1	6,4	69
		cultivator	23,4	7,0	5,0	76
		0-object	98,4	29,7	21,1	--
T2	na 3 uur	ploeg	12,0	3,4	2,1	76
		rotorkoeg	38,4	10,7	6,7	23
		cultivator	42,6	11,9	7,4	16
		0-object	49,8	13,9	8,7	--
T3	na 6 uur	ploeg	27,0	7,8	5,2	71
		rotorkoeg	37,2	10,8	7,2	59
		cultivator	42,6	12,4	8,2	53
		0-object	90,6	26,3	17,4	--

Experimenten op zandgrond

De resultaten van direct onderwerken (T4 en T5) en die van na 3 uur onderwerken (T6 en T7) zijn weergegeven in tabel 5 samen met het experiment waarbij na 6 uur is ondergewerkt (T8). De bewerking met de triltandcultivator is steeds het minst effectief. Voor alle bewerkingen neemt de reductie in ammoniakverlies af, naarmate de tijd tussen toedienen en bewerken groter wordt.

Direct onderwerken verminderde bij de drie methoden het meest effectief de hoge ammoniakverliezen. Gedurende het eerste uur na de mesttoediening bereikte de emissiesnelheid van het 0-object een hoogte van meer dan 400 mg $\text{NH}_3\text{-N.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Op de velden die bewerkt waren met een frees en triltandcultivator was de emissie slechts 15 en 36 mg $\text{NH}_3\text{-N.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ gedurende het eerste uur. De ammoniakverliezen van het veld dat bewerkt was met de triltandcultivator bleef constant hoger dan de andere bewerkte velden, maar continu lager dan de controle.

In het experiment, waarbij de mest na 3 uur ondergewerkt werd (T6), trad de eerste drie uur slechts 5% van de totale emissie op. In dit geval zou onderwerken na 3 uur bijna even effectief zijn geweest als direct in- of onderwerken. In de meeste gevallen treedt een veel groter deel van de totale emissie op gedurende de eerste uren na toediening. Lage temperaturen bij aanvang van het experiment hebben mogelijk bijgedragen aan deze lage emissies direct na toediening.

In de periode 3-6 uur na mesttoediening bereikte de emissie van het niet bewerkte veld een hoogte van 800 mg $\text{NH}_3\text{-N.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Alle inwerkmethoden resulteerden in dit tijdvak in veel lagere emissies, die voortduurden tijdens het experiment.

In het experiment waarbij na 6 uur werd ondergewerkt (T8), nam de mate van emissie snel af. De bewerking na 6 uur versnelde de afname van de emissie, hetgeen resulteerde in lage emissies voor de drie bewerkingen. Ongeveer 30% van de totale verliezen trad op binnen de eerste 6 uren na de mesttoediening. Het uitstel van een bewerking was in dit experiment minder effectief voor de reductie van de ammoniakverliezen.

Tabel 5 De ammoniakemissie bij de tunnelmetingen op zandgrond, waarbij op verschillende tijdstippen na uitrijden een grondbewerking heeft plaatsgevonden.

Exp. nr.	Tijdstip onderwerken		Verlies (kg $\text{NH}_3\text{-N.ha}^{-1}$)	Verlies in $\text{NH}_4\text{-N}$ gift	% van NKj gift	Reductie-percentage
T4+	direct	ploeg	2,4	0,8	0,5	97
T5		bladenfrees	7,2	2,5	1,6	91
		cultivator	24,6	8,0	5,6	69
		0-object	78,8	27,1	17,9	--
T6+	na 3 uur	ploeg	16,8	5,9	3,8	82
T7		bladenfrees	22,8	8,0	5,2	77
		cultivator	35,4	12,4	8,1	63
		0-object	95,4	33,5	21,7	--
T8	na 6 uur	ploeg	19,8	7,0	4,5	61
		bladenfrees	13,8	4,8	3,1	72
		cultivator	23,4	8,2	5,3	54
		0-object	50,4	17,7	11,5	--

5 HUISVESTINGSSYSTEMEN EN MESTSOORTEN

5.1 Onderzoekopzet

In de experimenten waarbij mestsoorten uit verschillende huisvestingssystemen zijn onderzocht, is mest uit de volgende stal-systemen van het Proefstation voor de Varkenshouderij gebruikt:

- een met gescheiden opslag in de stal. De mest wordt twee keer per dag afgevoerd waarbij de vloeibare fractie in een gesloten tank wordt opgeslagen en de vaste mest in een container, die is afgedekt met een kleed;
- een met een halfroostervloer en volledige onderkeldering, waar de mest in de kelder blijft (verder in het verslag als varkensmest 1 aangeduid);
- een stal met een halfroostervloer, die alleen onder de roosters is onderkelderd en waarbij de mest een keer per week wordt overgepompt naar een gesloten tank buiten de stal (verder in het verslag als varkensmest 2 aangeduid).

De emissie van de vloeibare en vaste fractie van de mest uit de stal met gescheiden opslag en de mestsoorten 1 en 2 zijn onderling gelijktijdig vergeleken na bovengrondse aanwending. De metingen zijn uitgevoerd op kleigrond (koolzaadstoppel) volgens de micrometeorologische methode.

De samenstellingen van de mestsoorten en de mestgiften staan weergegeven in bijlage 3.

Zoals te verwachten waren de belangrijkste verschillen te vinden in de samenstelling van de vloeibare en vaste fractie. In de vloeibare fractie was 87% van de totale N aanwezig als $\text{NH}_4\text{-N}$, vergeleken bij 28% in de vaste fractie. Ondanks het verschil in opslag waren de samenstellingen van de mestsoorten 1 en 2 vergelijkbaar, behalve dat het drogestofgehalte in mest 1 lager was.

5.2 Resultaten

De totale ammoniakverliezen van de mestsoorten staan weergegeven in tabel 6. De ammoniakverliezen van mest 1 en 2, waren gelijkwaardig. De hoogte van de emissies komt overeen met de gemeten verliezen bij de onbewerkte velden in week 35 tot en met 39 (M1-M4; tabel 3).

Het ammoniakverlies van de vloeibare fractie was 5 keer zo laag als de beide mengmesten, ondanks dat de ammoniumstikstofgift gelijk was. Slechts 7-8% van de opgebrachte ammoniumstikstof emitteerde vergeleken met 30% bij de mengmesten. De snelle infiltratie van deze vloeibare mest in de grond verklaart waarschijnlijk dit verschil. De verliezen van de vaste fractie waren absoluut gezien ook lager dan bij de mengmesten. De emissie van de vaste fractie was, uitgedrukt in procenten van de opgebrachte ammoniumstikstof, echter even hoog als de beide mengmesten. Deze waren echter 3 keer zo groot als de verliezen van de vloeibare fractie.

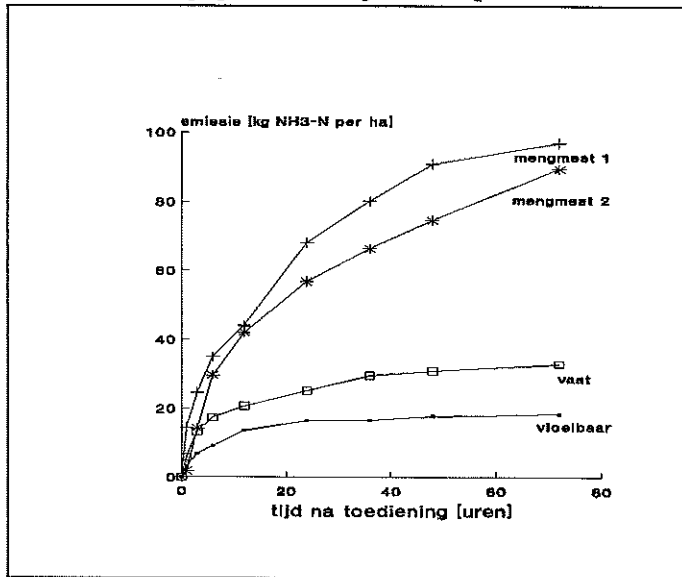
Het cumulatieve ammoniakverlies van de verschillende mestsoorten staat weergegeven in figuur 10. Zoals bij de andere experimenten is waargenomen, treden ook hier hoge verliezen op in de beginperiode, gevolgd door lagere emissies in het verdere verloop van het experiment. De beginverliezen (de eerste uren na toediening) waren lager van de gescheiden fracties, met name de vloeibare, en bleven constant lager dan bij de mengmesten gedurende het hele experiment. Geen verliezen werden meer gemeten 30 uur na de toediening van de vloeibare fractie en 45 uur na de toediening van de vaste fractie.

Tabel 6 De totale ammoniakemissie ($\text{kg NH}_3\text{-N.ha}^{-1}$) en de ammoniakemissie uitgedrukt in procenten van de Kjeldahl-stikstof (NKj) en het totaal opgebrachte ammoniumstikstof ($\text{NH}_4\text{-N}$) bij experimenten met mest uit verschillende soorten huisvestingssystemen; meting volgens de micrometeorologische methode (M5).

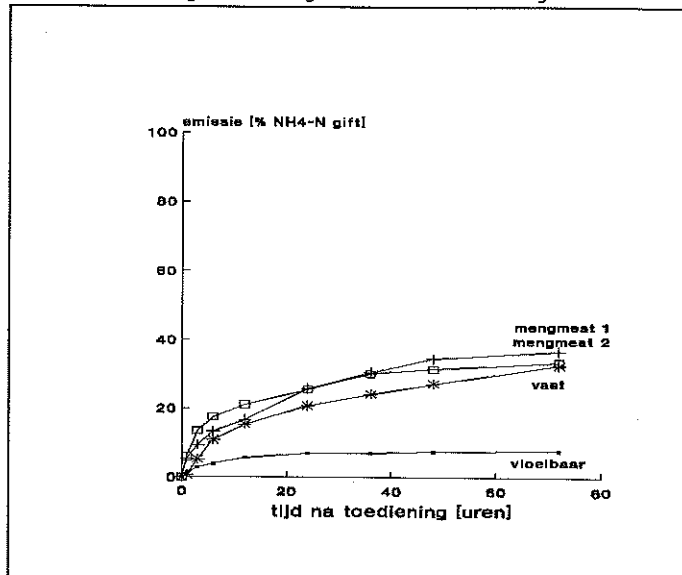
	Verlies in $\text{kg NH}_3\text{-N.ha}^{-1}$	Verlies in % van	
		$\text{NH}_4\text{-N gift}$	NKj gift
Vloeibare fractie	18,7	8	7
Vaste fractie	33,0	34	9
Varkensdrijfmest 1	97,2	37	25
Varkensdrijfmest 2	89,5	37	23

Figuur 10 Ammoniakemissie uit mest van
verschillende huisvestingssystemen (M5).

Emissie weergegeven in kg NH₃-N per ha



Emissie als percentage van de NH₄-N gift



In het najaar van 1988 is in een Nederlands-Engelse samenwerking onderzoek verricht naar de mogelijkheden om de emissie uit varkensmest te beperken na toediening op bouwland. Hiertoe zijn de volgende mogelijkheden onderzocht:

- De onderwerkmethoden zijn steeds onderling vergeleken ten opzichte van niet onderwerken (het 0-object). In de verschillende meetcycli is het tijdstip van onderwerken gevarieerd. Dit heeft tot gevolg dat tijdstipvariatiën niet onderling met elkaar vergelijkbaar zijn, doordat de weersomstandigheden tussen de verschillende meetcycli variëren.

Naast de experimenten waarbij mest is ondergewerkt, zijn varkensmesten onderzocht, die uit verschillende huisvestingssystemen afkomstig zijn. De emissiemetingen zijn uitgevoerd met de micro-meteorologische methode op kleigrond.

De twee mestsoorten uit de verschillende huisvestingssystemen vertonen onderling weinig verschillen. De emissie uitgedrukt in procenten van de ammoniumstikstof van de vloeibare fractie is laag ten opzichte van de varkensmesten. De vaste mest, afkomstig uit hetzelfde huisvestingssysteem, heeft een emissie, -uitgedrukt in procenten van de ammoniumstikstof- die in dezelfde orde van grootte ligt als de beide dunne mestsoorten.

Uit de experimenten blijkt dat gedurende de eerste uren in belangrijke mate wordt bepaald hoe groot de ammoniakemissie zal zijn. Tevens blijkt dat de totale emissie aanzienlijk daalt bij regenval, waardoor het effect van de grondbewerking kan worden gereduceerd.

25

7 DISCUSSIE

Alle experimenten zijn eenmalig uitgevoerd. Bij herhalingen spelen de weersomstandigheden en bodemcondities op de emissie een grote rol. De regelmaat in het verloop van de emissie en de hoogte van de emissie zijn in overeenstemming met ander onderzoek. Een groot aantal processen beïnvloeden, samen met de bewerking, de hoogte van de emissie. Een belangrijk proces is het in de bodem dringen van de mestvloeistof met de daarin aanwezige ammoniak. Hoeveel dat is en hoe diep deze indringt, hangt ondermeer af van het drogestofgehalte van de mest, de grondcondities en de meteorologische gesteldheid.

LITERATUUR

- Bruins, M.A. en A. Cappon, februari 1988. Ammoniakemissie tijdens het uitrijden van mest. IMAG nota 341 (HAB), Wageningen.
- Bruins, M.A., in voorbereiding. De ammoniakemissies tijdens en na het uitrijden van runder- en varkensmest.
- Buijsman, E., H. Maas en W. Asman, 1983. Een gedetailleerde ammoniak-emissiekaart van Nederland. Publikatiereeks Lucht nr. 41.
- Denmead, O.T. 1983. Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field. In: Gaseous Loss of Nitrogen from plant-soil systems. Freney, J.R. and J.R. Simpson (eds.). Martinus Nijhoff, 's Gravenhage: 195-214.
- Ferguson, R.B., K.J. McInnes, D.E. Kissel en E.T. Kanemasu, 1988. A comparison of methods of estimating ammonia volatilisation in the field. Fertilizer research 15: 55-69.
- Huijsmans, J. en J.V. Klarenbeek, 1988. Snel mest onderwerken op bouwland nuttig; Landbouwmeechanisatie nr. 8, augustus.
- Lockyer, D.R., 1984. A system for the measurement of losses of ammonia through volatilisation. Journal of the Science of Food and Agriculture 35, 837-848.
- Pain, B.F. en J.V. Klarenbeek, 1988. Anglo-Dutch experiments on odour and ammonia emissions from landspreading livestock wastes. IMAG research report 88-2, Wageningen.
- Pain, B.F., V.R. Phillips, J.F.M. Huijsmans en J.V. Klarenbeek, verschijnt in 1990. Anglo-Dutch experiments on odour and ammonia emission following the spreading of piggery wastes on arable land. IMAG research report, Wageningen.
- Ryden, J.C. en D.R. Lockyer, 1985. Evaluation of a System of Windtunnels for Field Studies of Ammonia Loss from Grassland through Volitalisation. Journal of the science of Food and Agriculture 36: 781-788.
- Sutton, O.G., 1953. Micrometeorology: a study of physical processes in the lowest layers of the earth's atmosphere. McGraw-Hill, New York.
- Winkel, K. de en E. van de Plassche, 1987. Ammoniakemissiereductie: Noodzaak en mogelijkheden. Lucht en omgeving; december:124-127.

BIJLAGE 1 Onderwerkexperimenten op kleigrond.
Mestgiften en analyses.

	Experiment			
	M1	M2	M3	M4
NKJ (mg.l^{-1})	7770	9540	6770	8655
Opgebrachte kg N (kg N.ha^{-1})	500,3	590,2	435,9	527,9
NH ₄ -N (mg.l^{-1})	5520	5960	4470	5740
Opgebrachte kg NH ₄ -N ($\text{kg NH}_4\text{-N.ha}^{-1}$)	355,4	368,8	287,3	350,1
P (mg.l^{-1})	1990	1880	2010	1935
K (mg.l^{-1})	4410	4260	4420	4335
Drogestofgehalte (%)	8,97	8,35	10,9	8,76
pH	7,5	7,4	7,3	7,5
Gift (m^3 mest. ha^{-1})	64	62	64	61

BIJLAGE 2 Onderwerkexperimenten op zandgrond.
Mestgiften en analyses.

NKj (mg.l ⁻¹)	7315
Opgebrachte kg N (kg N.ha ⁻¹)	438,9
NH ₄ -N (mg.l ⁻¹)	4745
Opgebrachte kg NH ₄ -N (kg NH ₄ -N.ha ⁻¹)	284,7
P (mg.l ⁻¹)	1105
K (mg.l ⁻¹)	4435
Drogestofgehalte (%)	5,7
pH	7,4
Gift (m ³ mest. ha ⁻¹)	60

BIJLAGE 3 Experimenten met mest uit verschillende huisvestings-systemen (M5). Mestgiften en analyses.

	Vloeibare fractie	Vaste fractie	Varkensmest	
			1	2
NKj (mg.l^{-1})	4470	10,3 ¹⁾	6030	6600
Opgebrachte kg N (kg N.ha^{-1})	274,9	349,7	363,3	390,9
NH ₄ -N (mg.l^{-1})	3890	2,9 ¹⁾	4390	4630
Opgebrachte kg NH ₄ -N ($\text{kg NH}_4\text{-N.ha}^{-1}$)	239,2	98,5	264,5	274,2
P (mg.l^{-1})	16,3	3,7 ¹⁾	935	1870
K (mg.l^{-1})	7040	6,1 ¹⁾	6230	6130
Drogestofgehalte (%)	2,4	16,6	5,7	9,2
pH	8,6	8,1	7,6	7,3
Gift (m^3 mest. ha^{-1})	61,5	340	60,2	59,2
1) = g.kg^{-1} (vaste mest)				

BIJLAGE 4 De neerslag (mm) en gemiddelde luchttemperatuur (°C) weergegeven per periode; de gegevens zijn afkomstig van het weerstation te Lelystad.

Periode	M1	M2	M3	M4	M5
uur	(mm) °C	(mm) °C	(mm) °C	(mm) °C	(mm) °C
0- 1	17,4	15,4	15,6	4 14,8	13,7
1- 3	17,5	4,5 16,3	15,2	14,7	15,1
3- 6	17,1	17,1	14,7	13,6	16,4
6-12	15,3	15,6	14,3	13,6	14,3
12-24	16,1	15,3	13,7	3,4 13,0	1 11,9
24-36	0,9 15,6	16,5	14,5	3,2 14,0	9,1 12,5
36-48	18,7 14,9	14,6	13,5	1,8 14,3	3,2 11,0
48-96*	15,1	16,2	0,9 13,9	2,9 14,1	6,3 11,8
totaal	19,6	4,5	0,9	11,3	19,6

* het experiment met verschillende mestsoorten is na 72 uur gestopt.

Tabel 1 Overzicht van de experimenten gedurende week 35 tot en met 40.

Experiment	Week nr.	Grond soort	Locatie	Behandelingen
M1	35	klei	polder	onderwerken met stoppelploeg, rotorkoep en vaste tandcultivator direct na de toediening van varkensmest.
M2	36	..	..	als M1, maar na 3 uur onderwerken van de mest
M3	38	..	..	herhaling van M2
M4	37	..	..	als M1, maar na 6 uur onderwerken van de mest
M5	40	..	..	4 varkensmestsoorten: vloeibare en vaste fractie, en 2 soorten varkensmest uit verschillende huisvestingssystemen
T1	35	..	..	als M1
T2	36	..	..	als M2
T3	37	..	..	als M4
T4	35	zand	IMAG	onderwerken met wentelploeg, triltandcultivator en bladenfrees direct na de toediening van varkensmest
T5	38/39	..	..	herhaling van T4
T6	36	..	..	als T4 maar na 3 uur onderwerken van de mest
T7	38	..	..	herhaling van T6
T8	37	..	..	als T4 maar na 6 uur onderwerken van de mest

M = meting volgens micrometeorologische methode
T = meting volgens windtunnelmethode