

32/446(442) 2<sup>e</sup> ex

## **Vervluchtiging van ammoniak uit dierlijke mest**

**Literatuuronderzoek ten behoeve van de watersysteemverkenningen**

**J. Roelsma**

**Rapport 442**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1997**

25 JUNI 1997

LN 935694 \*

## REFERAAT

Roelsma, J., 1997. *Vervluchtiging van ammoniak uit dierlijke mest; literatuuronderzoek ten behoeve van de watersysteemverkenningen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 442. 32 blz.; 7 fig.; 5 tab.; 22 ref.

SC-DLO heeft een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de emissieroutes en vervluchtigingspercentages van ammoniak uit dierlijke mest. Er is uitgegaan van de situatie dat nog geen emissiereducerende maatregelen in de landbouwsector zijn ingevoerd. De ammoniakemissie blijkt sterk afhankelijk te zijn van het ammoniakgehalte en de pH van mest en van de blootstelling van mest aan de open lucht. Bij oppervlakkige toediening van dierlijke mest blijken weersinvloeden een grote rol te spelen.

Trefwoorden: ammoniakvervluchtiging, mesttoediening, emissiearme mesttoedieningstechnieken, mestwetgeving, weersinvloeden.

ISSN 0927-4499

©1997 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.  
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Project 7405

Rap442.IS/2-97

## **Inhoud**

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Schets van het probleem	11
1.2 Inperking van het probleem: de mestwetgeving	12
1.3 Werkwijze	13
1.4 Leeswijzer	14
2 Factoren die van invloed zijn op ammoniakemissie	15
2.1 Algemene fysische factoren	15
2.2 Bodemeigenschappen	16
2.3 Weersinvloeden	17
3 Oorzaken en reduceren van ammoniakemissie	21
3.1 Bronnen van ammoniak	21
3.2 Stal- en opslagemissie	22
3.2.1 Rundveehouderij	23
3.2.2 Varkenshouderij	24
3.2.3 Pluimveehouderij	25
3.3 Emissie bij beweiding	26
3.4 Emissie door toediening van dierlijke mest	27
Literatuur	31

## **Woord vooraf**

In de regeringsbeslissing over de derde Nota Waterhuishouding (NW3) zijn de Watersysteemverkenningen (WSV) aangekondigd. Met de WSV wordt de technisch-wetenschappelijke basis gelegd voor een diagnose van het waterbeleid ten behoeve van de vierde Nota Waterhuishouding (NW4), die in het loop van 1997 gereed moet zijn. Binnen het kader van de WSV, die gezamenlijk door DLO-Staring Centrum (SC-DLO), Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) en Waterloopkundig Laboratorium (WL) werd uitgevoerd, bleek een grote behoefte te bestaan aan een overzicht van vervluchtigingspercentages van ammoniak uit dierlijke mest bij verschillende mesttoedieningstechnieken.

Dit rapport is het product van een literatuurstudie naar de belangrijkste routes van de emissie van ammoniak uit dierlijke mest.

## Samenvatting

In het kader van de Watersysteemverkenningen (WSV) is een literatuuronderzoek naar de emissieroutes en vervluchtigingspercentages van ammoniak uit dierlijke mest uitgevoerd. In dit rapport is een situatie weergegeven waarin nog geen emissiereducerende maatregelen in de landbouwsector zijn doorgevoerd. Als referentiejaar is hiervoor het jaar 1980 gekozen.

In 1980 werd 50% van de ammoniakuitstoot in de landbouw veroorzaakt door het toedienen van dierlijke mest. De resterende 50% van de totale ammoniakuitstoot kwam vrij bij het stallen van vee en het opslaan van dierlijke mest in mestopslagdepots (tezamen 37%) en de beweiding van rundvee (13%).

De emissie van ammoniak uit dierlijke mest blijkt sterk afhankelijk te zijn van het ammoniakgehalte van mest, de pH van mest en de blootstelling van mest aan de open lucht. Bij oppervlakkige toediening van dierlijke mest blijken tevens weersinvloeden een grote rol te spelen. Vooral de luchttemperatuur en neerslag bepalen de hoogte van de ammoniakemissie. Bij een hoge temperatuur en een geringe of afwezige neerslag vervluchtigt een groot deel van het aanwezige minerale stikstof in mest als ammoniak.

In een situatie waarbij geen emissiereducerende maatregelen zijn genomen, kunnen de volgende emissiepercentages voor stal- en opslagemissie voor respectievelijk rundvee, varkens en pluimvee gehanteerd worden:

- $F_{s+o} = 0,17$
- $F_{s+o} = 0,18$
- $F_{s+o} = 0,30$

waarbij  $F_{s+o}$  staat voor de emissiepercentages van  $\text{NH}_3$  uit stallen en mestopslagdepots. Alle emissiepercentages zijn weergegeven in fractie ten opzichte van de totale N-excretie.

Bij de beweiding van rundvee kan, uitgaande van een gemiddelde stikstofgift op grasland en bijvoeding van krachtvoer, een emissiepercentage van  $F_w = 0,10$ , ten opzichte van de totale uitgescheiden urine-stikstof, aangenomen worden.

Bij oppervlakkige toediening van dierlijke mest kan een emissiepercentage van  $F_1 = 0,50$  verondersteld worden. Dit percentage is uitgedrukt als de totale hoeveelheid vervluchtigde ammoniak ten opzichte van de totale hoeveelheid aanwezige minerale stikstof voor het toedienen van mest.

Door het toepassen van emissiearme technieken kan de emissie tijdens het toedienen van mest sterk gereduceerd worden.

## 1 Inleiding

DLO-Staring Centrum heeft in het kader van de Watersysteemverkenningen (WSV), waarmee de technisch-wetenschappelijke basis gelegd wordt voor een diagnose van het waterbeleid ten behoeve van de vierde Nota Waterhuishouding (NW4), een korte literatuurstudie naar de emissie van ammoniak uit dierlijke mest uitgevoerd. Deze studie was vereist om een gedegen inschatting te kunnen geven van enkele modelparameters van het nutriëntenuitspoelingsmodel ANIMO ten aanzien van de ammoniakvervluchtiging.

### 1.1 Schets van het probleem

De belangrijkste zuurvormende stoffen in de lucht zijn zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en ammoniak (NH<sub>3</sub>). In 1989 was 46% van de totale aandeel aan verzurende stoffen voor de rekening van NH<sub>3</sub>. Van deze 46% was 33% afkomstig uit Nederland, terwijl de resterende 13% geïmporteerd werd uit het buitenland (tabel 1).

Tabel 1 Aandeel van de verschillende stoffen in de verzuring in 1989 (in %) (naar Bloem, 1991)

	Totaal aandeel verzuring	Afkomstig uit Nederland	Afkomstig uit buitenland
Zwaveldioxide (SO <sub>2</sub> )	30	11	19
Stikstofoxiden (NO <sub>x</sub> )	24	10	14
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	46	33	13
Totaal	100	54	46

Tabel 2 Bijdrage van de belangrijkste veehouderijsectoren aan de emissie van ammoniak in 1980 (in ton NH<sub>3</sub>) (naar VROM/LNV, 1987)

Diercategorie	Stal en mestopslag	Toediening	Beweiding	Bijdrage sectoren
Rundvee	43 000	71 000	27 000	141 000 (64%)
Varkens	20 000	31 000	---	51 000 (23%)
Pluimvee	19 000	9 000	---	28 000 (13%)
Bijdrage deelterreinen (%)	82 000 (37%)	111 000 (50%)	27 000 (13%)	222 000 (100%)

Het is dus duidelijk dat in het recente verleden vooral de hoeveelheid ammoniak in de atmosfeer grote invloed had op de mate van verzuring van het milieu. Om deze reden is in het verleden veel onderzoek gedaan naar de oorsprong en lotgevallen van deze verzurende stof. Vragen die men hiermee probeerde te beantwoorden hadden meestal betrekking op de bronnen van ammoniakuitstoot. Met andere woorden, welke

sector is verantwoordelijk voor de uitstoot van ammoniak en op welke manieren ontstaat de emissie.

De landbouw, en dan met name de veehouderij, is verantwoordelijk voor 94% van de totale emissie van ammoniak. Van die 94% komt 90% voort uit de productie en gebruik van dierlijke mest, terwijl de overige 4% veroorzaakt wordt door het gebruik van kunstmest.

In 1980 werd 50% van de ammoniakuitstoot in de landbouw veroorzaakt door het toedienen van dierlijke mest (tabel 2). De andere helft van het aandeel kwam voor rekening van het stallen van vee en het opslaan van dierlijke mest in mestopslagplaatsen (37 %) en het weiden van rundvee (13%).

Uit dit overzicht wordt duidelijk dat in het peiljaar 1980 de productie en het gebruik van dierlijke mest in de landbouw nagenoeg de enige bron van ammoniakuitstoot was en daardoor ook meteen de grootste bijdrage aan de verzuring van het milieu leverde.

## 1.2 Inperking van het probleem: de mestwetgeving

Vanaf 1987 is de mestwetgeving van kracht geworden. In deze wetgeving zijn regels gesteld aan de productie en gebruik van dierlijke mest. De mestwetgeving moet vooral de problemen rondom de uit- en afspoeling van mineralen en de verzuring oplossen. Hierdoor is via wetten een samenhangend pakket van maatregelen ingevoerd. Deze hebben ondermeer betrekking op de productie, het gebruik en de afzet van dierlijke mest, het gebruik van overige organische mest en de beperking van de ammoniakemissie.

De mestwetgeving wordt in vier fasen ingevoerd (tabel 3). De eerste fase is bedoeld om de mestproductie niet verder te laten toenemen. Er wordt hier alleen een "stand-still"-situatie gecreëerd. De tweede en derde fase zijn bedoeld voor respectievelijk het terugdringen van de problemen en het bereiken van een evenwichtssituatie. In de vierde fase wordt het behouden van de evenwichtssituatie nagestreefd.

Tabel 3 Fasering van de mestwetgeving

Fase	Periode	Doel
1e fase	1987 t/m 1990	Stand-still
2e fase	1991 t/m 1994	Terugdringen problemen
3e fase	1995 t/m 1999	Bereiken evenwicht
4e fase	vanaf 2000	Evenwichtssituatie

Door dierlijke mest in het groeiseizoen toe te dienen wordt de kans op het uit- en afspoelen van nutriënten naar het grond- en oppervlaktewater verkleind. Voorjaar en zomer zijn daarom de meest geschikte perioden om dierlijke mest uit te rijden. Buiten het groeiseizoen is de kans op uit- en afspoeling veel groter.

Verder is de uitspoeling van nutriënten onder andere afhankelijk van de grondsoort. Om deze reden is voor het gebruik van dierlijke mest onderscheid gemaakt tussen:

- Gronden die gevoelig zijn voor uitspoeling van mineralen. Dit zijn de aangewezen gebieden. Het betreft overwegend zand- dal- of lössgronden.
- Gronden die minder gevoelig zijn voor uitspoeling van mineralen. Dit zijn de overige gebieden. Het betreft hier overwegend klei- en veengronden.

Afhankelijk van de risico's en inpasbaarheid van de bedrijfsvoering is het toedienen van dierlijke mest in bepaalde perioden verboden (fig. 1). Vanaf 1992 geldt voor zowel bouw- en maïsland in de aangewezen en overige gebieden als voor grasland in de aangewezen gebieden een emissiearme toediening of onderwerkverplichting van dierlijke mest. Voor emissiearm toedienen op grasland zijn de volgende technieken toegelaten:

- Mestinjectie.
- Zode-injectie.
- Sleepvoeten.

Voor bouwland, maïsland en niet-beteelde grond wordt onder emissiearm toedienen van mest het in een of maximaal twee direct opeenvolgende werkgangen toedienen en onderwerken van mest verstaan. Door andere mesttoedieningstechnieken te gebruiken kan een aanzienlijke reductie in de emissie van ammoniak verkregen worden (hoofdstuk 3).

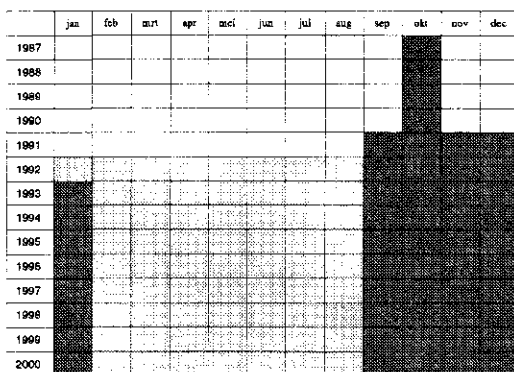
### **1.3 Werkwijze**

Aan de hand van een literatuuronderzoek zijn gegevens verzameld waarmee een beter inzicht in de ontstaanswijze en de emissieroutes van ammoniak zijn verkregen. Hierbij is hoofdzakelijk gebruik gemaakt van literatuur die de situatie in Nederland in de periode van 1980 tot 1994, met betrekking tot ammoniakvervluchtiging, beschrijft. De buitenlandse literatuur is geselecteerd op hun overeenkomst met de Nederlandse omstandigheden in de landbouwsector. Met behulp van de vernieuwde inzichten omtrent ammoniakvervluchtiging uit dierlijke mest is het mogelijk een gefundeerde inschatting te kunnen geven van modelparameters die het stikstofverlies via ammoniakvervluchtiging beschrijven. Dit is gedaan voor zowel de oude situatie, waarbij de dierlijke mest altijd oppervlakkig werd toegediend en nog geen mestwetgeving was ingevoerd, als voor de nieuwe situatie waarmee rekening gehouden moet worden met het tijdstip van uitrijden en de toegestane mesttoedieningstechnieken.

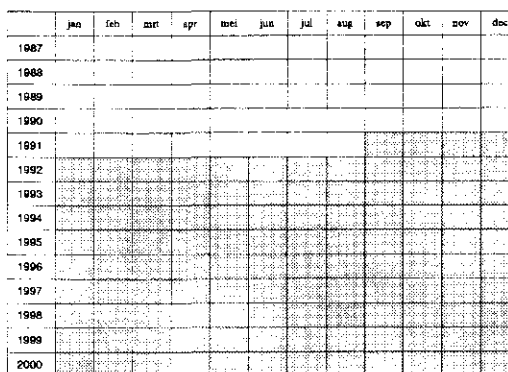
Naast de directe aanleiding om het uitspoelingsmodel ANIMO van goed beargumenteerde emissiepercentages ten aanzien van de ammoniakvervluchtiging te voorzien is in dit rapport tevens gepoogd een breed overzicht van vervluchtiging van ammoniak uit dierlijke mest weer te geven.



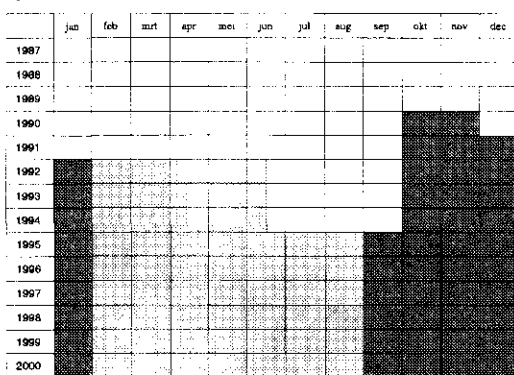
bouw- en maisland in de aangewezen gebieden



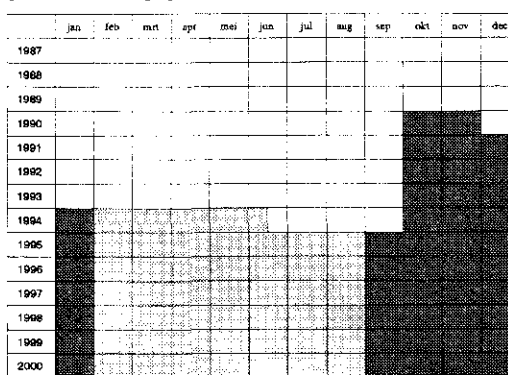
bouw- en maisland in de overige gebieden



grasland in de aangewezen gebieden



grasland in de overige gebieden





-  = uitrijverbod
-  = emissie-arm toedienen of onderwerkverplichting
-  = geen uitrijbeperkingen

Fig. 1 Toedienregels op grasland en bouw- en maisland in de aangewezen en overige gebieden

## 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de factoren die van invloed zijn op de ammoniakemissie. Er wordt daarbij een onderverdeling gemaakt naar algemene fysische factoren (2.1), bodemeigenschappen (2.2) en weersinvloeden (2.3).

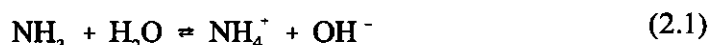
In hoofdstuk 3 worden de verschillende bronnen van ammoniakemissie besproken. Er is in dit hoofdstuk gekozen voor een indeling naar de broncategorieën stal en mestopslag, beweiding en mesttoediening. Per categorie wordt de emissiepercentage besproken. Waar dit nodig bleek te zijn is een nadere opdeling gemaakt naar de diercategorieën rundvee, varkens en pluimvee. Verder wordt er nog kort ingegaan op emissiereducerende mesttoedieningstechnieken

## 2 Factoren die van invloed zijn op ammoniakemissie

De emissie van ammoniak uit dierlijke mest zal niet onder alle omstandigheden gelijk zijn. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste factoren die invloed hebben op de ammoniakemissie en wordt tevens aangegeven hoe groot de bijdrage van die factor op de totale emissie is. De factoren die van invloed zijn op de emissie van ammoniak zijn globaal ingedeeld in drie hoofdgroepen. In paragraaf 2.1 wordt een beschrijving gegeven van de eerste groep factoren: algemene fysische factoren. In paragraaf 2.2 en 2.3 worden respectievelijk de factoren bodemeigenschappen en weersinvloeden behandeld.

### 2.1 Algemene fysische factoren

Ammoniak reageert met water volgens de evenwichtsreactie :



Alleen vrije ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) kan naar de lucht ontsnappen. De emissie uit mest is hoofdzakelijk afhankelijk van een viertal factoren:

- pH van de mest.
- Ammoniakgehalte van de mest.
- Temperatuur.
- Blootstelling aan de open lucht.

#### *pH van de mest*

De pH heeft invloed op het gehalte aan vrije ammoniak van de mest. Bij een hoge pH zal het evenwicht van reactievergelijking (2.1) naar links verschuiven. Dit betekent dat ammonium zal overgaan in vrije ammoniak, waardoor de ammoniakemissie zal toenemen. Bij langere opslag van mest worden vetzuren afgebroken, waardoor de pH stijgt. Hetzelfde gebeurt bij vergisten van mest en nadat mest is uitgereden.

Bij een pH van 7,0 is weinig vrije ammoniak aanwezig is (tabel 4). De hoeveelheid vrije ammoniak varieert bij constante temperatuur binnen het gangbare pH-bereik veel sterker dan bij een constante pH binnen het gangbare temperatuurbereik. Echter, door het grote bufferend vermogen van mest kan de pH moeilijk beïnvloed worden.

#### *Ammoniakgehalte van de mest*

De emissie is groter naarmate het ammoniakgehalte van de mest hoger is. Dit gehalte is op zijn beurt afhankelijk van:

- Voerrantsoen. Hoe meer eiwit in het rantsoen, des te meer ammoniak in de mest.
- De hoeveelheid water in de mest. Hoe minder water, hoe hoger het ammoniakgehalte.

- Type opslag. Bij gesloten opslag wordt het ontsnappen van  $\text{NH}_3$  tegengegaan. De vorming ervan gaat echter wel door, zodat het ammoniakgehalte van de mest zeer hoog kan worden.
- Ouderdom van de mest. Tijdens opslag vindt afbraak van organische stof plaats, waarbij ammoniak ontstaat uit organisch gebonden stikstof.

*Tabel 4 Hoeveelheid vrije ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), als percentage van de totale hoeveelheid ammoniakale stikstof ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ), in relatie tot pH en temperatuur (naar Voorburg, 1984)*

Temperatuur (°C)	pH			
	7,0	7,5	8,0	8,5
10	0,2	0,6	2,0	6,1
15	0,3	0,9	2,8	8,2
20	0,4	1,2	3,7	11,0
25	0,5	1,7	5,2	14,8

## 2.2 Bodemeigenschappen

Wanneer mest oppervlakkig is toegediend, zijn de eigenschappen van de bodem slechts in geringe mate van invloed op de emissie van ammoniak. Wordt de mest nu door andere mesttoedieningstechnieken direct in de bodem gebracht (bv. door mestinjectie, zode-injectie of onderwerken), dan spelen bodemeigenschappen een rol bij het vrijkomen van ammoniak uit de grond. In deze paragraaf worden een drietal bodemeigenschappen genoemd die van invloed zijn op de ammoniakemissie.

### *Zuurgraad van de bodem*

Wanneer mest wordt toegediend in de bodem is niet alleen de pH van de mest belangrijk voor de vervluchtiging van  $\text{NH}_3$ , maar tevens de pH van de bodem. Uit experimenten blijkt hierover dat bij een zuurgraad van de bodem van  $\text{pH} = 7,0$  en hoger een grote vervluchtiging van ammoniak uit de bodem plaatsvindt (naar Commissie Wiggers, 1986).

### *De Cation Exchange Capacity (CEC)*

Het ammoniumion is een positief geladen deeltje en zal daarom reageren met het Cation Exchange Complex van de bodem. Doordat dit proces de hoeveelheid ammonium in oplossing doet afnemen, zal de hoeveelheid ammoniak in oplossing en de emissie ervan tevens afnemen. Een grote CEC levert dan ook een verlaging van de emissie van ammoniak uit de bodem op.

### ***Vochtgehalte van de bodem***

Als mest mechanisch in- of ondergewerkt wordt, is het vochtgehalte van de grond relevant. Bij een droge grond vindt een grotere emissie van ammoniak plaats dan bij een vochtige grond. Bij deze bodems zal het evenwicht van reactievergelijking (2.1) naar links verschuiven. Het gevolg zal een grotere emissie van ammoniak zijn.

## **2.3 Weersinvloeden**

Bij oppervlakkige toediening van mest spelen weersinvloeden een grote rol. De belangrijkste factoren zijn in dit geval:

- Temperatuur.
- Neerslag.
- Windsnelheid.
- Luchtvochtigheid.

### ***Temperatuur***

De temperatuur heeft langs verschillende wegen invloed op de ammoniakemissie (tabel 4). Naarmate de temperatuur hoger is:

- Neemt het percentage vrije ammoniak toe.
- Wordt de vluchtigheid van de ammoniak groter.
- Verdamppt meer water uit de mest, waardoor het ammoniakgehalte toeneemt.

Er is duidelijk sprake van een dag- en nachtritme bij de ammoniakemissie (fig. 2). Temperatuurverschillen zijn daarvan waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak, maar het is goed mogelijk dat zonnestraling, luchtvochtigheid en windsnelheid ook van invloed zijn geweest. Op de dagen met de hoogste temperaturen (fig. 2: 11 en 14 mei) was ook sprake van een relatief grote ammoniakemissie. Ook hier is het mogelijk dat andere in de voorgaande genoemde factoren een rol hebben gespeeld.

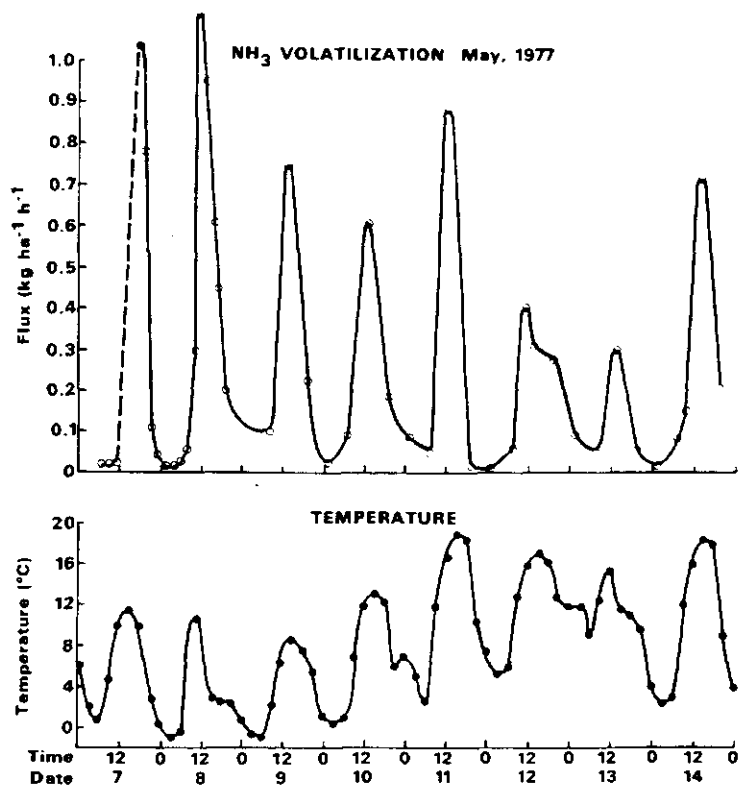


Fig. 2 Relatie tussen ammoniakemissie ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{uur}^{-1}$ ) en luchttemperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ ) bij oppervlakkige toediening van runderdrijfmest. De mest werd uitgereden op 7 mei om ongeveer 13.00 uur (naar Beauchamp et al., 1982)

### Neerslag

Ook de neerslag is van invloed op de ammoniakemissie. Door de grote affiniteit van  $\text{NH}_3$  voor water gaat regenval na het toedienen van dierlijke mest emissie tegen: het ammoniakgehalte van de mest daalt en de inspoeling wordt bevorderd. Bovendien wordt ammoniak die vervluchtigt opgenomen door de regen en met die regen weer op de grond teruggebracht (fig. 3). Voorzichtigheid blijft echter geboden bij de interpretatie. Uit figuur 3 wordt namelijk niet duidelijk of de neerslag in buien viel of als motregen, op welk tijdstip van de dag de neerslag viel, hoe de bewolking was en of de neerslag gepaard ging met veel wind, etc. Al deze factoren zouden invloed kunnen hebben op de emissie.

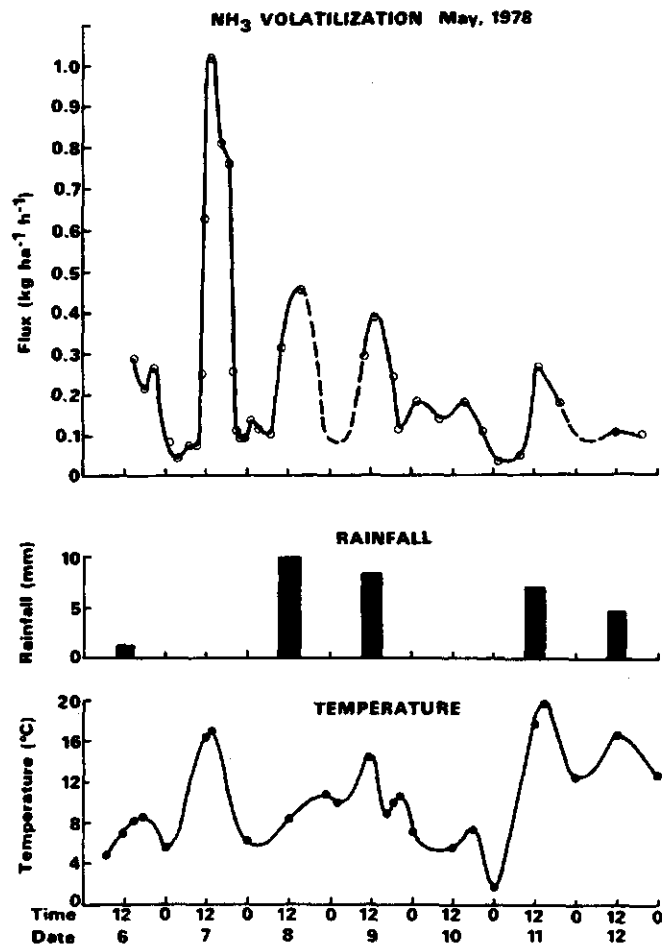


Fig. 3 Relatie tussen ammoniakemissie ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{uur}^{-1}$ ) en regenval (mm) en luchttemperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ ) bij oppervlakkige toediening van runderdrijfmest. De mest werd uitgereden op 6 mei om ongeveer 11.00 uur (naar Beauchamp et al., 1982)

### **Windsnelheid**

Kwantitatieve gegevens over het effect van windsnelheid zijn schaars, maar omdat bij een hogere windsnelheid meer verse lucht over de uitgereden mest wordt gevoerd, ligt het voor de hand dat er sprake is van een grotere emissie (Freney en Simpson, 1983). Doordat  $\text{NH}_3$  meteen door de wind wordt afgevoerd, zal de partiële dampdruk van  $\text{NH}_3$  verlaagd worden. Het gevolg is dat het evenwicht van reactievergelijking (2.1) opnieuw naar links zal verschuiven.

### **Luchtvochtigheid**

Droge omstandigheden bevorderen de ammoniakemissie (Lauer et al., 1976). Doordat hierbij de partiële dampdruk van  $\text{H}_2\text{O}$  wordt verlaagd, zal ook hier het evenwicht van reactievergelijking (2.1) naar links verschuiven.

### *Overige factoren*

Bij temperaturen beneden het vriespunt kan er sprake zijn van een grote ammoniakemissie. Waarschijnlijk is dan sprake van een vriesdroogeffect: zuiver water bevriest, waardoor de ammoniak niet langer in oplossing verkeert en niettegenstaande de lage temperaturen vervluchtigt. Daar komt nog bij dat de lucht bij temperaturen onder het vriespunt droog is. Het resultaat is dat vrijwel alle ammoniak vervluchtigt (CAD voor Bodem-, water- en bemestingszaken, 1985).

### 3 Oorzaken en reduceren van ammoniakemissie

#### 3.1 Bronnen van ammoniak

Ten aanzien van de landbouw kunnen vier broncategorieën van ammoniak onderscheiden worden, te weten: huisvesting, opslag, toedienen van mest en beweiding (fig. 4). Aangezien de eerste twee categorieën in de praktijk meestal moeilijk van elkaar zijn te scheiden worden deze twee categorieën als een post beschreven.

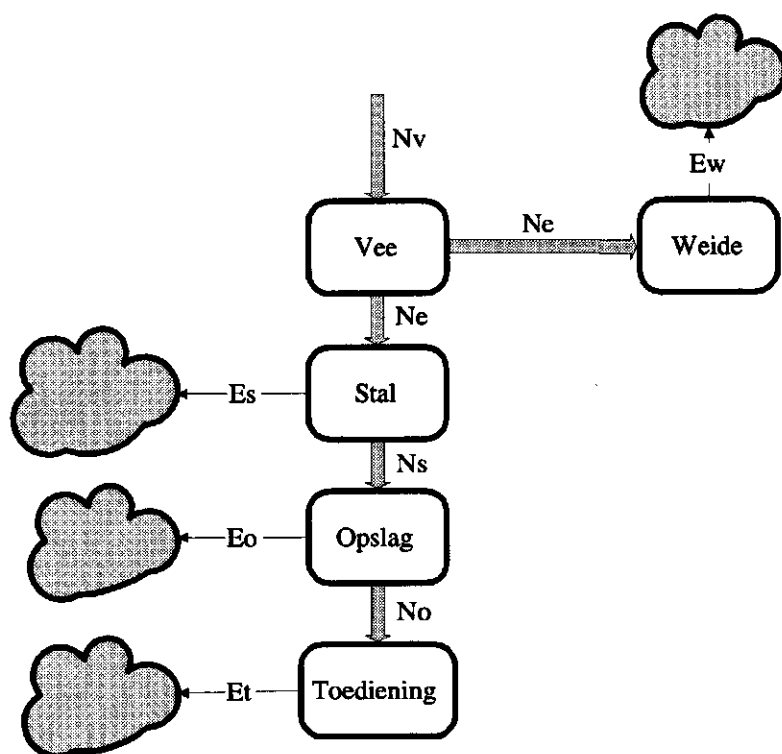


Fig. 4 De emissie van  $NH_3$  in de landbouw; waarbij:  $N_v$  = hoeveelheid N in het veevoer,  $N_e$  = hoeveelheid N in de faeces en urine,  $N_s$  = hoeveelheid N in de faeces en urine na het verlies van  $NH_3$  in de stal,  $N_o$  = hoeveelheid N in de faeces en urine na 2-3 maanden opslag,  $E_w$  =  $NH_3$ -emissie tijdens beweiding,  $E_s$  = emissie in de stal,  $E_o$  = emissie tijdens mestopslag en  $E_t$  = emissie tijdens toediening van de mest

Hoewel op dit moment niet in alle gevallen bekend is of er een rechtlijnig verband is tussen de N-excretie en de ammoniakemissie, wordt er aangenomen dat per broncategorie en daarvan weer elk onderscheiden systeem een gemiddelde constante fractie van stikstof in de vorm van ammoniak uit de mest vervluchtigt. Dit wordt het emissiepercentage (of ook wel emissiefactor of ammoniakvervluchtigingsfactor) genoemd. Een andere belangrijke aanname is dat N-verliezen uit mest in stal en opslag uitsluitend optreden in de vorm van ammoniakemissie. Voor de verschillende



brongecategorieën gelden dan de volgende relaties:

$$\text{Emissie stal } (E_s) = \text{excretie } (N) * F_s$$

$$\text{Emissie opslag } (E_o) = \text{excretie } (N) * (1-F_s) * F_o$$

$$\text{Emissie toediening } (E_t) = \text{excretie } (N) * (1-F_s) * (1-F_o) * F_t$$

waarbij:

$$F_s = \text{emissiepercentage van de stal}$$

$$F_o = \text{emissiepercentage van de opslag}$$

$$F_t = \text{emissiepercentage van de toediening}$$

Uit de bovenstaande relaties blijkt duidelijk dat de stikstofconcentratie in de mest gedurende de stalperiode steeds geringer wordt. In iedere categorie verdwijnt een deel van de stikstof in de mest, ter grootte van het emissiepercentage, in de vorm van ammoniak (fig. 5)

Bij beweiding zal ammoniak in één stap emitteren waarbij de relatie geldt:

$$\text{Emissie weide } (E_w) = \text{excretie } (N) * F_w$$

waarbij:

$$F_w = \text{emissiepercentage van beweiding}$$

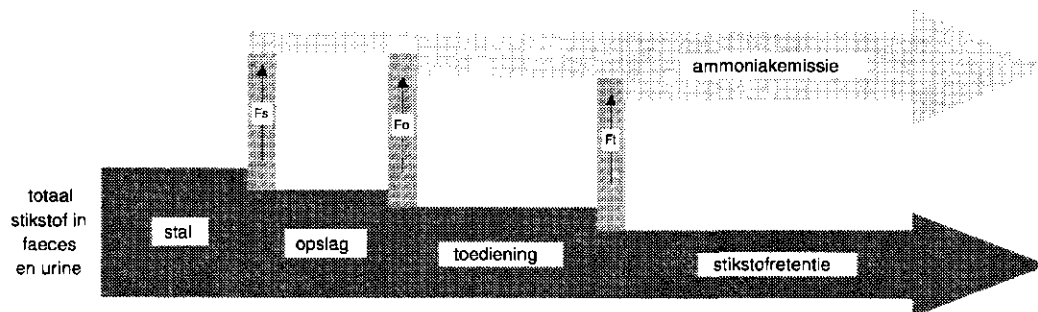


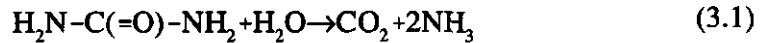
Fig. 5 Emissie en retentie van stikstof in dierlijke mest gedurende de stalperiode

### 3.2 Stal- en opslagemissie

Volgens berekeningen van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (tabel 2) vond in 1980 ruim 37% van de totale ammoniakemissie uit de veehouderij plaats tijdens de huisvesting van vee (36%) en de opslag van mest (1%). Ongeveer 50% van deze emissie komt voor rekening van het huisvesten van rundvee. De resterende 50% komt hoofdzakelijk voor rekening van het huisvesten van varkens en pluimvee, respectievelijk 24% en 23%.

### 3.2.1 Rundveehouderij

Om te komen tot emissiereducerende maatregelen is inzicht in het proces van ammoniakvorming tijdens de stalperiode nodig. Ammoniak wordt hoofdzakelijk gevormd door de afbraak van ureum, dat in de urine voorkomt:



Deze afbraak wordt versneld door het enzym urease. Micro-organismen die dit enzym produceren komen voor in de faeces (Mobley en Hausinger, 1989). Wanneer een stalvloer regelmatig met faeces en urine wordt bevuild, ontstaat op deze stalvloer een laag met micro-organismen die een hoge ureaseactiviteit heeft. In urine die op deze laag terecht komt, wordt ureum veel sneller afgebroken (binnen enkele uren) dan in urine/faeces-mengsels op een verder schone stalvloer (Elzing et al., 1992).

Hoe snel op de vloer een actieve laag ontstaat, hangt af van allerlei factoren. Enige factoren, zoals pH en temperatuur, zijn in paragraaf 2.1 beschreven. Andere factoren die van invloed zijn op de vorming van een actieve laag zijn vloerbevuiling met zowel urine als faeces, ruwheid van de vloer en eventuele schuifwerking. Onder gemiddelde omstandigheden bereikt de laag op de vloer na 7 à 10 dagen een maximum ureaseactiviteit (Elzing et al., 1992).

Door het wegstromen van urine komt een deel van het ureum onafgebroken in de mestkelder terecht. Hier wordt onder invloed van de micro-organismen uit de faeces ureum eveneens omgezet in ammoniak.

Uit metingen in een praktijkstal, waarbij er sprake was van urinelozingen op een vuile stalvloer in plaats van een urine/faeces-mengsel op een stalvloer, bleek dat het aandeel van de emissie vanaf het rooster aan de totale emissie vanuit een stal aanzienlijk kan zijn (FOMA, 1994a). Een vast percentage is niet te geven, omdat deze ook afhankelijk is van de frequentie waarmee en de mate waarin een rooster in een stal met urine wordt bevuild. In een stal zijn hierdoor grote verschillen in de emissie te verwachten vanaf verschillende plaatsen van het vloeroppervlak.

Samenvattend kan de ammoniakemissie in formulevorm als volgt worden weergegeven (Muck en Steenhuis, 1981):

$$E = \frac{k_{\text{dif}} * A * [C] * f}{H} \quad (3.2)$$

Waarbij:

$E$  = ammoniakemissie ( $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$[C]$  = som van de concentratie ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ( $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ )

$A$  = emitterend oppervlak ( $\text{dm}^2$ )

- $k_{\text{dif}}$  = overdrachtsnelheidsconstante, deze hangt voornamelijk af van de luchtsnelheid ( $\text{dm.s}^{-1}$ )
- $f$  = fractie van de totale hoeveelheid ammoniak en ammonium in de ammoniakvorm, deze is afhankelijk van de pH en de temperatuur
- $H$  = constante van Henry; deze geeft in evenwicht de verhouding aan tussen opgeloste ammoniak en ammoniak als gas boven de oplossing. De temperatuur heeft grote invloed op  $H$ .

Deze formule kan worden gebruikt bij het zoeken naar maatregelen om de emissie uit stallen te reduceren. Een aantal maatregelen zijn:

- Verlaging van de ureumconcentratie in de urine door veevoedingsmaatregelen. Dit heeft direct invloed op de ammoniakconcentratie door de snelheid van de ureumafbraak.
- Het verlagen van de ureumafbraaksnelheid op een stalvloer door andere vloerafwerkingen of behandeling van de stalvloer met zuur of formaldehyde.
- Het verlagen van de pH van mest en urine (aanzuren).
- Het verkleinen van het emitterende oppervlak (verkleining van het oppervlak per dier of mest- en urineverwijdering vanaf de stalvloer door mestbehandeling).
- Verkleining van de luchtsnelheid over het mestoppervlak door het afdekken van de mestopslag of het afsluiten van de mestkelder in een stal.

Voor het jaar 1980 (stal zonder emissiereducerende aanpassingen; referentie) geldt, onder gemiddelde omstandigheden, een emissiepercentage van 17%, ten opzichte van de totale N-excretie. Hier is tevens de emissie bij mestopslag meegerekend. De emissiepercentage voor stal en opslag wordt hiermee:

$$F_{\text{s+o}} = 0,17$$

### 3.2.2 Varkenshouderij

De ammoniakemissie uit varkensstallen wordt voor een gedeelte bepaald door de mate waarin varkens de vloeren, de wanden en zichzelf bevuilen. Algemeen wordt aangenomen dat de mate van bevuiling in de stallen een resultante is van een aantal op elkaar inwerkende factoren. De belangrijkste invloedsfactoren voor de bevuiling van de hokken zijn hokinrichting, mestdoorlatendheid van de vloer, stalklimaat en hokbezetting. Door beheersing van deze factoren kan de bevuiling en daardoor de emissie worden verminderd (FOMA, 1994b).

In tegenstelling tot de rundveehouderij is de mestkelder bij de varkenshouderij de hoofdbron van de ammoniakemissie uit de stallen. De kelderemissie kan in principe via twee wegen worden teruggedrongen. In de eerste plaats door snel en volledig uit te mesten, waarna de mest buiten de stal in een afgesloten opslag wordt bewaard. In de tweede plaats door de mest zodanig te behandelen dat emissies worden verhinderd (zie hiervoor par. 3.2.1).

Voor het jaar 1980 (stal zonder emissiereducerende aanpassingen; referentie) geldt, onder gemiddelde omstandigheden, een emissiepercentage van 18% ten opzichte van de totale N-excretie. De emissiepercentage voor stal en opslag wordt hiermee:

$$F_{s+o} = 0,18$$

### 3.2.3 Pluimveehouderij

Ammoniak is een stikstofverbinding die niet of nauwelijks voorkomt in de excreties van pluimvee. Onverteerde eiwitten en urinezuur vertegenwoordigen respectievelijk circa 30% en 70% van de totale hoeveelheid stikstof in de uitwerpselen. De onverteerde eiwitten zijn door het dier niet ge- of verbruikt, terwijl urinezuur in het lichaam is gevormd om overtollig stikstof in een niet-schadelijke vorm uit te scheiden. Na uitscheiding kunnen door micro-organismen uit deze twee stikstofverbindingen ureum, ammoniak, nitriet, nitraat, lachgas, stikstofmonoxide, stikstofgas en microbiëel eiwit worden gevormd (FOMA, 1994c).

De emissie uit de stal is een gevolg van de microbiële afbraak van eiwitten en urinezuur tot ureum en vervolgens ammoniak. Dit proces wordt voornamelijk beïnvloed door de volgende factoren:

- Wateractiviteit ( $A_w$ ). Mest bestaat uit water en droge stof. Een gedeelte van het water is gebonden aan zouten, terwijl een ander gedeelte ongebonden is en gebruikt kan worden door micro-organismen. De wateractiviteit is een maat voor de concentratie ongebonden of vrij water.
- Temperatuur. Hogere temperaturen hebben een positieve invloed op de microbiële activiteit (afbraak).
- Zuurgraad.
- Zuurstofconcentratie. De omzetting van urinezuur en eiwitten via allerlei tussenproducten tot ammoniak, verloopt vele malen sneller bij aanwezigheid van zuurstof dan bij afwezigheid van zuurstof.

Het verlagen van de wateractiviteit, bijvoorbeeld door het drogen van mest, en verlaging van de temperatuur levert een aanzienlijke emissiereductie op. Daarnaast kan de emissiereductie verder vergroot worden door mest regelmatig uit de stal te verwijderen naar een afgesloten of overkapte opslag, via biofiltratie (zuiveren van de lucht), en het sturen van nitrificerende en/of denitrificerende processen.

Voor het jaar 1980 (stal zonder emissiereducerende aanpassingen; referentie) geldt, onder gemiddelde omstandigheden, een emissiepercentage van 0,30, ten opzichte van de totale N-excretie. De emissiepercentage voor stal en opslag wordt hiermee:

$$F_{s+o} = 0,30$$

### 3.3 Emissie bij beweiding

Naast ammoniakemissie tijdens de stalperiode veroorzaakt het rundvee tevens een emissie bij beweiding. In 1980 bedroeg de emissie tijdens beweiding circa 27 miljoen kg NH<sub>3</sub>. Dit komt overeen met ongeveer 13% van de totale ammoniakemissie in 1980.

Van de met gras en krachtvoer opgenomen stikstof wordt slechts een klein gedeelte vastgelegd in melk en vlees. De weidende koe scheidt het overgrote deel weer uit, overwegend met de urine en voor een klein gedeelte met de faeces. De verbinding ureum, die de belangrijkste stikstofverbinding in de urine is, heeft een hoge potentie voor emissie van ammoniak.

Stikstofuitscheiding en ammoniakemissie tijdens beweiding wordt door twee aspecten beïnvloed:

- Het stikstofgehalte in het voer.
- De periode die de dieren in de weide doorbrengen.

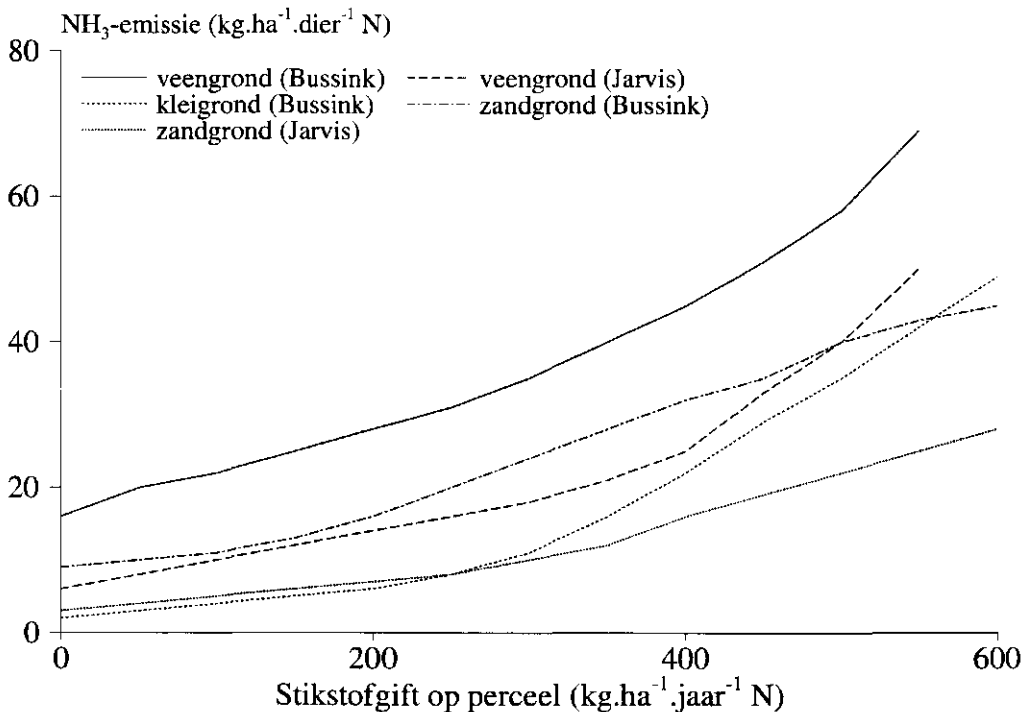


Fig. 6 Het effect van de hoogte van de stikstofgift op grasland op de ammoniakemissie bij alleen weiden op verschillende grasland bodemtypes; de resultaten zijn weergegeven voor melkkoeien met een productie van 7000 kg melk per jaar en een opname van 16 kg droge stof uit gras en 1.8 kg uit krachtvoer en drie uur per dag op stal om te worden gemolken. (naar Bussink, 1990 en 1992; Jarvis et al., 1989)

### ***Het stikstofgehalte in het voer***

Op basis van gegevens van Bussink (1990, 1992) is een relatie afgeleid om de ammoniakemissie bij beweiding te kunnen voorspellen op basis van de stikstofgift op grasland (fig. 6). Daarbij is rekening gehouden met de stikstofrespons van het grasland en de faeces- en urineproductie van de grazende dieren. Verder zijn er aanpassingen nodig voor beweidingsefficiëntie en -selectiviteit, stikstofretentie in melk en vlees, de krachtvoergift en de tijd dat de koeien op stal staan gedurende melken of bijvoeding (Bussink, 1994).

Voor de twee veengronden, de twee zandgronden en de kleigrond werden de volgende relaties gevonden:

Veengrond	$Y = 8,00 \cdot 10^{-2} \cdot X + 6,87$	$R^2 = 0,93$	$n = 12$
Kleigrond	$Y = 7,84 \cdot 10^{-2} \cdot X - 5,66$	$R^2 = 0,90$	$n = 13$
Zandgrond	$Y = 5,42 \cdot 10^{-2} \cdot X + 2,62$	$R^2 = 0,97$	$n = 13$

Waarbij:

$Y$  = ammoniakemissie in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dier}^{-1} \text{ N}$

$X$  = stikstofgift op het perceel in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1} \text{ N}$

Uit deze relaties blijkt duidelijk dat bij een verhoogde stikstofgift op het beweide perceel een hogere ammoniakemissie van het grazende rundvee valt te verwachten.

### ***De periode die de dieren in de weide doorbrengen***

Wordt de periode die de dieren in de weide doorbrengen verkort, dan zal de emissie tijdens beweiding afnemen. Echter, de emissie tijdens huisvesting (stal en opslag) en tijdens mesttoediening zal dan toenemen.

Uitgaande van een gemiddelde stikstofgift en bijvoeding van krachtvoer is een ammoniakemissie van 10%, ten opzichte van de totaal uitgescheiden urine-stikstof, gemeten (FOMA, 1994a). Het emissiepercentage voor beweiding wordt hiermee:

$$F_w = 0,10$$

## **3.4 Emissie door toediening van dierlijke mest**

Circa de helft van de totale ammoniakuitstoot in de veehouderijsector in het jaar 1980 werd veroorzaakt door het toedienen van dierlijke mest (tabel 2). Al de dierlijke mest werd in 1980 oppervlakkig toegediend. In paragraaf 2.3 is beschreven dat bij oppervlakkige toediening van mest vooral weersinvloeden een belangrijke rol bij de ammoniakemissie spelen. Bij veel neerslag wordt de emissie van ammoniak flink gereduceerd (fig. 7).

Onder droge condities geeft Lammers (1986) als vuistregel, dat in de eerste uren na het oppervlakkig toedienen van de dierlijke mest 20% van de ammoniakfractie (N-mineraal) vervluchtigt en van het resterend deel (80%) in de 15 (droge) dagen

daarna, nog 95%. Een en ander is ondermeer gebaseerd op onderzoek van Lauer et al. (1976) en Beauchamp et al. (1982).

Voorlopige gegevens van lopend onderzoek in Nederland (Van Faassen et al., 1987) laten een N-vervluchtiging zien van 25 tot 60% van het mineraal stikstofaandeel bij een mestgift van ca. 30 ton dunne rundermest per hectare. Hiervan vervluchtigde 70-90% in de eerste 36 uur na het oppervlakkig toedienen.

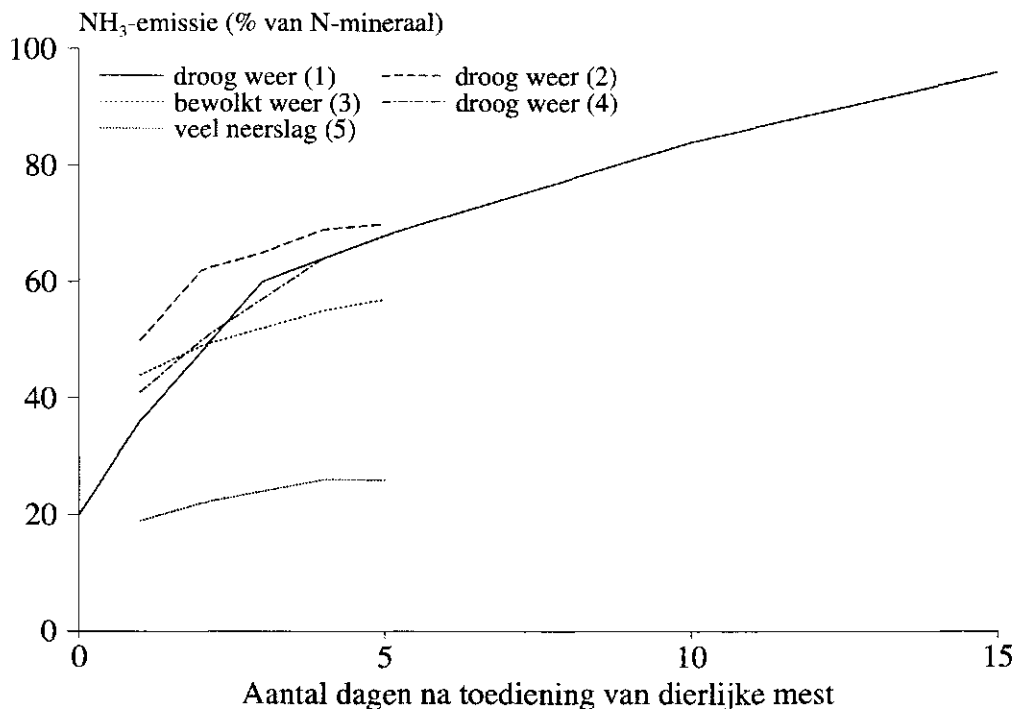


Fig. 7 Ammoniakemissie na oppervlakkige toegediende runderdrijfmest als percentage van N-mineraal (naar Lammers, 1986 (1) en Van Faassen et al., 1987 (2) t/m (5))

Dierlijke mest wordt gewoonlijk in de winter en lente, aan het einde van een droge periode, vlak voor een verwachte regenperiode toegediend. In een gemiddelde natte periode valt dan gedurende ca. 3 dagen globaal 10 mm neerslag. Na een dergelijke hoeveelheid neerslag reduceert de NH<sub>3</sub>-emissie tot nagenoeg nul (Lammers, 1986). Aannemende dat tussen het moment van oppervlakkig toedienen en de eerste neerslag gemiddeld anderhalve dag verstrijkt en dat gedurende globaal de helft van de regenperiode ammoniak vervluchtigt, dan zal onder Nederlandse condities gedurende 2 tot 4 dagen na het oppervlakkig toedienen van mest ammoniakvervluchtiging optreden. Uit figuur 7 volgt dan dat in deze periode 40 tot 60% van de minerale stikstoffractie in de mest als NH<sub>3</sub> is vervluchtigd.

Op basis van bovenstaande overwegingen is voor de gemiddelde Nederlandse situatie een emissiepercentage  $F_i = 0,50$  voor oppervlakkige toediening van dierlijke mest verondersteld. De aldus berekende emissiepercentage is van toepassing bij oppervlakkige toediening van mest op zowel gras- als bouwland.

Door het toepassen van emissiearme technieken kan de emissie tijdens het toedienen van mest sterk gereduceerd worden. In tabel 5 wordt een overzicht gegeven van enkele mesttoedieningstechnieken en de emissiereductie door het toepassen van deze technieken ten opzichte van oppervlakkige toediening van dierlijke mest.

*Tabel 5 Emissiepercentages van emissiearme mesttoedieningsmethoden en hun reductie ten opzichte van oppervlakkige toegediende mest (naar De Winkel, 1988 en LNV/VROM, 1993)*

Wijze van toediening	Emissiepercentage t.o.v. N-mineraal (Fr)	Reductie t.o.v. oppervlakkige toediening (%)
<i>Grasland</i>		
Oppervlakkige toediening	0,50	0
Mestinjectie	0,05	90
Zode-injectie	0,10	80
Sleepvoeten	0,125	75
Inregenen	0,20	60
<i>Bouwland</i>		
Oppervlakkige toediening	0,50	0
Onderwerken binnen 12 uur	0,20	60
Onderwerken binnen 36 uur	0,36	28
In één werkgang onderwerken	0,05	90
In één werkgang overig	0,075	85
Injectie	0,05	90



## Literatuur

Beauchamp, E.G., G.E. Kidd en G. Thurtell, 1982. 'Ammonia volatilization from liquid dairy cattle manure in the field'. *Can. J. Soil Sci.* 62: 11-19.

Bloem, L., 1991. *Hoofdlijnen van beleid en regelgeving. Mest- en ammoniakmaatregelen*. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

Bussink, D.W., 1990. *NH<sub>3</sub>-vervluchtiging bij beweiding. N-stromenonderzoek 1986, 1987 en 1988*. Verslag A 88.024-II, NMI, Wageningen.

Bussink, D.W., 1992. *De ammoniakemissie bij beweiding bij drie N-niveaus, september 1989-november 1990*. Verslag A90.099, NMI, Wageningen.

Bussink, D.W., 1994. 'Relationships between ammonia volatilization and nitrogen fertilizer application rate, intake and excretion of herbage nitrogen by cattle on grazed swards'. *Fert. Res.* 38: 111-121.

CAD voor Bodem- water- en bemestingszaken, 1985. *Vlugschrift voor de Landbouw*, nr. 406. Wageningen.

Commissie Wiggers, 1986. *Advies beperking uitrijverbod dierlijke meststoffen*. Wageningen.

Elzing, A., W. Kroodsma, R. Scholtens en G.H. Uenk, 1992. *Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een rundveestal: Theoretische beschouwingen*. IMAG-DLO rapport 92-10, IMAG-DLO, Wageningen.

Faassen, H.G. van, J. Molen, en R. van der Vriesema, 1987. *Ammoniakemissie uit en vanaf de grond na in- of opbrengen van dierlijke mest*. IB project 390, kort verslag over de periode oktober 1986 t/m april 1987, IB, Haren.

FOMA, 1994a. *Naar veehouderij en milieu in balans: 10 jaar FOMA onderzoek. Deel 1: Rundvee*. FOMA, Ede.

FOMA, 1994b. *Naar veehouderij en milieu in balans: 10 jaar FOMA onderzoek. Deel 2: Varkens*. FOMA, Ede.

FOMA, 1994c. *Naar veehouderij en milieu in balans: 10 jaar FOMA onderzoek. Deel 3: Pluimvee*. FOMA, Ede.

Freney, J.R. en J.R. Simpson, 1983. *Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems*. Nijhoff/Junk, Den Haag.

Jarvis, S.C., D.J. Hatch en D.R. Lockyer, 1989. 'Ammonia fluxes from grazed grassland: annual losses from cattle production systems and their relation to nitrogen inputs'. *J. Agric. Sci.* 113: 99-108.

Lammers, H.W., 1986. *Advies beperking uitrijperiode dierlijke meststoffen*. Commissie van deskundigen, Wageningen.

Lauer, D.A., D.R. Bouldin en S.D. Klausner, 1976. 'Ammonia volatilization from dairy manure spread on the soil surface'. *J. Environ. Qual.* 5: 124-141.

LNV/VROM, 1993. *Evaluatie NH<sub>3</sub>-beleid*. Rapportnr. 636/AA92/A582/07083M.

Mobley, H.L.T. en R.P. Hausinger, 1989. 'Microbial ureases: Significance, regulation and molecular characterization'. *Microbiological reviews* 53: 85-108.

Muck, R.E. en T.S. Steenhuis, 1981. 'Nitrogen losses in free stall dairy barns. Livestock waste: A renewable resource'. *ASAE* 5: 406-409.

Voorburg, J.H., 1984. 'Verwachte ontwikkelingen met betrekking tot de mestopslag en mestverwerking op veehouderijbedrijven'. *Bedrijfsontwikkeling* 15, 7/8: 603-607.

VROM/LNV, 1987. *Tussentijdse evaluatie verzuringsbeleid*.

Winkel, K. de, 1988. *Ammoniak-emissiefactoren voor de veehouderij*. VROM rapportnr. Lucht 76. Leidschendam.