

# Vermindering van ammoniakemissie door korstvorming op rundveemengmest

Ir. M.J.C. de Bode

rapport 226  
juli 1990  
prijs f 10,-



**IMAG**

Mansholtlaan 10-12, Wageningen, tel. 08370 - 94911



### Voorwoord van de opdrachtgever

De landbouw en met name de veehouderij is verantwoordelijk voor ruim 90% van de ammoniakemissies in Nederland.

Ammoniak komt vrij uit stallen, bij de opslag van mest in silo's, gedurende het weiden van vee, en bij het uitrijden van mest en kunstmest.

In het bestrijdingsplan Verzuring en het Plan van aanpak beperking ammoniak-emissie van de landbouw dat op 20 juli 1989 aan de Tweede Kamer is aangeboden, is een groot aantal voorgenomen maatregelen ter bestrijding van de verzuring aangegeven.

Een van deze maatregelen betreft het afdekken van mestopslagen. Vanaf 1 januari 1991 zullen mestbassins die gebouwd zijn na 1 juli 1987 moeten worden afgedekt. Voor bassins ten behoeve van dunne mest afkomstig van melkrundvee is deze datum gesteld op 1 januari 1992. De afdekverplichting zal worden opgenomen in het Besluit Mestbassins Hinderwet (o.g.v. artikel 2a)

Tijdens de voorbereidingen van deze Amvb ontstond discussie over de noodzaak om silo's gevuld met rundveemest af te dekken. Op deze mest zou zich al dan niet een natuurlijke korst vormen, die de emissie van ammoniak zou beperken.

Bij wettelijke milieu-maatregelen spelen naast de milieu-effecten ook andere aspecten een rol zoals de uitvoerbaarheid en de controle of handhaafbaarheid van een regeling.

Ontheffing van een afdekverplichting voor mestbassins in die gevallen waarin door toevoeging van stro een korst op de mest zou ontstaan levert bij controle en handhaving echter grote problemen op. Aan de mestsilo is immers niet te zien welke mestsoort erin zit. In dit verband kunnen ook de silo's met mengmest van rundvee en varkens genoemd worden, waarbij het effect van strotoevoeging onbekend is.

Resumerend kan gesteld worden dat, op basis van de onderzoekresultaten en voornoemde andere aspecten, vooralsnog niet gesproken kan worden van een volwaardige ammoniakreducerende maatregel.

De directeur Lucht,

mr. G.J.R. Wolters

## INHOUD

SAMENVATTING	3
1 INLEIDING	4
2 METHODE	6
2.1 Opzet	6
2.2 Monstername	7
3 RESULTATEN EN DISCUSSIE	10
3.1 Periode februari - augustus 1987	10
3.2 Periode september 1987 - mei 1988	13
3.3 Periode juni 1988 - augustus 1988	16
3.4 Emissiereductie van ammoniak	17
3.4.1. Lindvalldoosmethode	17
3.4.2. Balansmethode	18
3.4.3. Vergelijking Lindvalldoosmethode-balansmethode	19
4 CONCLUSIES	21
LITERATUUR	22
BIJLAGEN	23

## SAMENVATTING

Dit rapport is het verslag van een onderzoek naar de vermindering van ammoniakemissie door korstvorming op rundveemengmest. Dit onderzoek heeft parallel gelopen met een onderzoek waarbij verschillende afdekkingen van minisilo's op ammoniak- en geurreductie werden getest.

In het ontwerp-Besluit Mestbassins Hinderwet (amvb) staat een ontheffingsbepaling voor afdekking van de opslag van rundveemengmest, omdat men er van uitgaat dat bij deze mest een drijfslag ontstaat, die de ammoniakemissie vermindert. Er bestaat echter twijfel over de vorming en het effect van zo'n drijfslag. Op verzoek van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) is daarom een onderzoek uitgevoerd naar de vorming van een mestkoek en het emissieverminderende effect van zo'n koek.

Allereerst werden tijdens de zomeropslag '87 vier minisilo's gevuld met twee mestsoorten: twee silo's met mest afkomstig van melkvee gevoerd met grassilage en twee silo's met mest afkomstig van melkvee gevoerd met een mixture van gras- en maissilage. Bij elk van deze mestsoorten diende een silo als controle, waarbij vorming van een mestkoek werd voorkomen door de mest te roeren.

Tijdens de zomeropslagperiode in 1987 bleek dat de drijfslag zich bij de gras/maissilage niet vormde en bij de andere mestsoort pas na ongeveer anderhalve maand. De korst handhaafde zich slechts drie maanden. Twee dagen met hevige regen brak de korst, waarna deze zich niet meer herstelde.

De ammoniakemissie is op twee manieren bepaald. Bij de eerste methode werd de emissie eenmaal per maand 24 uur lang gemeten door een Lindvalldoos over de silo te plaatsen en de concentratie van de in- en uitgaande lucht te meten. Aan de hand van een aantal waarnemingen verspreid over de opslagperiode is een gemiddelde emissie voor de hele opslagperiode berekend. Met de tweede methode is de gemiddelde emissie berekend over de hele opslagperiode door een balans op te stellen over het totaal stikstof in de mest aan het begin en het eind van de opslagperiode. Uit een foutenanalyse bleek dat de Lindvalldoosmethode nauwkeuriger was dan de balansmethode. Of de bovengenoemde mestkoek de ammoniakemissie reduceerde werd uit de meetresultaten niet duidelijk. De balansmethode gaf aan van niet, uit de Lindvalldoosmethode echter bleek dat de mestkoek wel degelijk een reducerende werking had.

Over de volledige opslagperiode genomen bleek er geen verschil in ammoniakemissie te bestaan tussen de twee rundveemengmestsoorten.

Om drijfslagvorming te forceren werd tijdens de winteropslagperiode gehakseld stro aan de mest toegevoegd. Dit werkte erg goed, binnen vier dagen had zich al een weerbestendige drijfslag gevormd. Uit metingen tijdens de winter bleek deze korst de ammoniakemissie gemiddeld met 50 % te verminderen. De emissiereductie bij de afzonderlijke metingen lag tussen 0 % en 90 %. Bij herhaling van dit experiment in de zomer verminderde de korst de ammoniakemissie met een gemiddeld reductiepercentage van 74 %, met een spreiding van 55 % tot 86 %.

## 1 INLEIDING

De laatste jaren worden ook in Nederland in toenemende mate de gevolgen van de verzuring zichtbaar, met name de bossen in de toch al gevoelige gebieden hebben veel te lijden.

De ammoniak, die vrijkomt uit de Nederlandse veehouderij, is één van de bronnen van de zogenaamde zure regen. De depositie van ammoniak en ammonium is voor ruim 70 % afkomstig uit Nederland zelf (Asman, 1987). Terugdringen van de ammoniakemissie heeft dus direct gevolgen voor de depositie in Nederland. In verband met de mestproblematiek is recentelijk van kracht geworden, dat er alleen gedurende bepaalde perioden mag worden uitgereden. Het gevolg van deze maatregel zal zijn dat er meer opslagcapaciteit voor mest nodig zal zijn. Een deel daarvan zal worden gerealiseerd in de vorm van bovengrondse opslag.

Om een toename van geurhinder en/of ecologische schade door ammoniakemissie, als gevolg van nieuw te realiseren mestbassins, tegen te gaan is in het ontwerp-Besluit Mestbassins Hinderwet voor bepaalde situaties een afdekverplichting opgenomen. Voor de onderbouwing van dit ontwerp-Besluit waren nog erg weinig cijfers over de emissie van ammoniak uit mestopslagen bekend en in welke mate de emissie kan worden teruggedrongen door afdekking van de mestopslagen.

Om deze leemte in kennis te kunnen opvullen heeft het IMAG in september 1985 een onderzoekvoorstel ingediend om de emissie van geur en ammoniak uit silo's te meten en om te bepalen in welke mate de emissie uit silo's door een afdekking wordt verminderd. Na enkele wijzigingen werd het onderzoek medio 1986 in de huidige vorm goedgekeurd. Het onderzoek is in drie fasen verdeeld: eerste fase onderzoek met varkensmest, duur één jaar; tweede fase onderzoek met rundermest, duur één jaar; derde fase onderzoek met dunne kippemest, duur één jaar.

Het eerste jaar van het onderzoek is gefinancierd door het ministerie van Landbouw en Visserij en het ministerie van VROM. Vertegenwoordigers van deze beide ministeries hebben ook zitting in de begeleidingscommissie. De samenstelling van de begeleidingscommissie is vermeld in bijlage V. I.v.m. het onderbrengen van de financiering van het ammoniakonderzoek bij het Financierings Overleg Mest en Ammoniak (FOMA), worden de resterende jaren van dit onderzoek gefinancierd door het FOMA.

In het licht van een vermeende emissiereducerende werking van een soms op dunne rundveemest voorkomende korst, is voor deze mest in het ontwerp-Besluit met betrekking tot de afdekverplichting een ontheffingsbepaling opgenomen.

Daar korstvorming in de praktijk niet altijd optreedt, is in opdracht van het ministerie van VROM een gedeelte van de onderzoekcapaciteit gebruikt voor onderzoek naar de omstandigheden waaronder de vorming van een korst op rundveemengmest plaats vindt en naar het eventueel emissieverminderend effect van een korst.

Zowel met betrekking tot het emissiereducerend effect van een drijfslag als tot de handhaafbaarheid van voornoemd voorschift bestonden bij het opstellen van deze ontwerp tekst twijfels over:

- het al dan niet optreden van een blijvende korst;
- de snelheid van vorming van een eventuele korst;
- de emissiereducerende werking van een blijvende korst;
- de omvang van de emissie uit een mestbassin t.o.v. die uit stallen.

Dit onderzoek, dat een deelonderzoek is van het minisilo-onderzoek naar de emissie van geur en ammoniak uit mestsilos, is bedoeld om een bijdrage te leveren aan de beantwoording van bovenstaande vragen. De eerste drie vragen worden in dit rapport direct behandeld. Voor de beantwoording van de laatste vraag kan dit rapport een hulpmiddel zijn.

Toen bleek dat natuurlijke korstvorming traag of niet optrad, werd besloten gedurende de volgende opslagperiode korstvorming te forceren door toevoeging van gehakseld stro. Door de beschikbaarheid van silos is op instigatie van de onderzoekers besloten het effect van geforceerde korstvorming gedurende een extra opslagperiode te meten.

November 1989

## 2 METHODE

### 2.1 Opzet

Om de vorming van een korst op rundermest en de eventuele reducerende werking op de ammoniakemissie te kunnen onderzoeken, is op het terrein van het IMAG in Wageningen een viertal minisilo's geplaatst. De hoogte bedraagt 2 meter en de diameter is 190 cm. De silo's staan geheel bovengronds. In de wand van de silo's zijn op 40, 90 en 165 cm hoogte monsternamekranen aangebracht. De silo's werden als volgt gevuld:

In de periode februari-augustus 1987

- silos 1: rundermest, afkomstig van melkvee dat gevoerd werd met grassilage. Een eventueel gevormde korst werd intact gelaten;
- silos 2: rundermest, afkomstig van melkvee dat gevoerd werd met grassilage. Korstvorming werd door roeren voorkomen;
- silos 3: rundermest, afkomstig van melkvee dat gevoerd werd met een mixture van gras/maissilage. Een eventueel gevormde korst werd intact gelaten;
- silos 4: rundermest, afkomstig van melkvee dat gevoerd werd met een mixture van gras/maissilage. Korstvorming werd door roeren voorkomen.

In de periode september 1987 - mei 1988

- silos 1: rundermest, waarbij de eventueel gevormde korst steeds werd opgebroken;
- silos 2: rundermest, waarbij de eventueel gevormde korst intact werd gelaten;
- silos 3: rundermest, waaraan 7,5 kg gehakseld stro/m<sup>2</sup> is toegevoegd;
- silos 4: rundermest, waaraan 4 kg gehakseld stro/m<sup>2</sup> is toegevoegd.

In de periode juni 1988 - augustus 1988

- silos 3: rundermest, waarbij de eventueel gevormde korst intact werd gelaten;
- silos 4: rundermest, waaraan ongeveer 5 kg gehakseld stro/m<sup>2</sup> is toegevoegd.

In dit rapport wordt onder een korst verstaan: een drijfslaag, die aan de bovenkant droog en duidelijk stevig is.

## 2.2 Monstername

Van alle minisilo's is op twee manieren de ammoniakemissie bepaald. De methoden zijn hieronder beschreven.

- 1. meting van de emissie m.b.v. een Lindvalldoos (momentane meting)

De momentane emissie werd eenmaal per maand voor elke silo bepaald. De monsternameduur per silo was 24 uur. Elke monstername van een etmaal was opgedeeld in acht periodes van drie uur. Uit deze acht periodes is een gemiddelde emissie over een etmaal berekend. De gemiddelde emissie over de hele opslagperiode is berekend door een gewogen gemiddelde te berekenen uit de etmaalemisssies. Daar de emissie vanuit de silo's vaak met de tijd afneemt, is elke etmaalemisssie voor een bepaalde periode representatief verondersteld. De duur van de periode, waarvoor een etmaalemisssie representatief is, is afhankelijk van het aantal dagen tussen twee metingen.

Monstername vond plaats door op de silo's een monsternamedoos te plaatsen. Deze doos is gemaakt volgens het principe van Lindvall (Lindvall,1974), dat houdt in dit geval in: een doos die luchtdicht over het te meten oppervlak geplaatst wordt, waarbij een ventilator lucht met een debiet van 48 m<sup>3</sup>/min door de doos blaast. Het te meten oppervlak is in het geval van een niet afgedekte silo het mestoppervlak en in het geval van een afgedekte silo de afdekking of de mestkorst. Gedurende een 3-uursperiode is de ammoniakconcentratie in de lucht bepaald door lucht met een snelheid van 14 tot 18 l/min door een impinger, gevuld met 85 ml 1% fosforzuur, te zuigen. Dit fosforzuur vangt het ammoniak uit de lucht. In het laboratorium van het IMAG is volgens NEN- norm 6472 de ammoniakconcentratie in de absorptievloeistof bepaald.

De berekening van de emissie is als volgt:

$$E = ((C_{NH_3} * V_{av} / AV)_{uit} - (C_{NH_3} * V_{av} / AV)_{in}) * VS * 3600 / A \quad (1)$$

waarin: E = ammoniakemissie (mg NH<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>.uur)  
C NH<sub>3,av</sub> = ammoniakconcentratie in absorptievloeistof (mg NH<sub>3</sub>/l)  
V<sub>av</sub> = volume absorptievloeistof (ml)  
AV<sub>av</sub> = luchtvolume dat door absorptievloeistof is gezogen (m<sup>3</sup>)  
VS = volume lucht dat over de silo is geblazen (m<sup>3</sup>/s)  
A = oppervlakte silo (m<sup>2</sup>)



De werkelijke waarde voor een 3-uursmonster, op deze manier berekend, ligt voor een hoge ammoniakemissie met zekerheid tussen de berekende emissie min 50 % en de berekende emissie plus 50 %. Voor een lage ammoniakemissie, zoals de emissie uit silo's, waarin de mest is bedekt met een korst, ligt de werkelijke waarde van de emissie tussen de berekende emissie min 100 % en de berekende emissie plus 100 % (zie bijlage IV).

Daar het etmaalgemiddelde bestond uit 8 waarnemingen, kon voor dit gemiddelde een 95 % betrouwbaarheidsinterval worden berekend. De statistische fout in het etmaalgemiddelde was voor lage emissies ongeveer 40%-60%, voor hoge emissies 20%-40% (zie bijlage I). Er zijn twee manieren om de ammoniakreductie te berekenen:

- de integrale methode : het reductiepercentage wordt berekend uit de gemiddelde emissie over de hele opslagperiode volgens

$$1 - E_1/E_0 \quad (2)$$

waarin:

$E_1$  = emissie van de objectsilo  
 $E_0$  = emissie van de referentiesilo

Berekening van een 95 % betrouwbaarheidsinterval is mogelijk door uit de 97,5 % betrouwbaarheidsonder- en bovengrens (btog en btbg) van de daggemiddelde emissie een gewogen btog en btbg voor de gemiddelde emissie van de gehele opslagperiode te berekenen. Uit de betrouwbaarheidsintervallen van de object- en de referentiesilo kan vervolgens een betrouwbaarheidsinterval voor het reductiepercentage worden berekend.

- de horizontale methode : het reductiepercentage wordt per meetronde uit de etmaalgemiddelde emissies berekend volgens vergelijking (2). Het gemiddelde van de reductiepercentages per meetronde is het gemiddelde reductiepercentage over de hele opslagperiode. Per meetronde kan uit de 95 % betrouwbaarheidsintervallen van de object- en de referentiesilo een 95 % betrouwbaarheidsinterval voor het reductiepercentage worden berekend. Middeling levert vervolgens het 95 % betrouwbaarheidsinterval voor de hele opslagperiode.

## - 2. bepaling van de gemiddelde emissie m.b.v. mestanalyses

Elke maand is van iedere silo een mestmonster genomen op 40 cm, 90 cm en 165 cm hoogte. De op deze hoogte genomen monsters zijn representatief verondersteld voor resp. 0 cm tot 70 cm, 70 cm tot 150 cm en 150 cm tot vulhoogte. Vervolgens is een gewogen gemiddelde berekend van de hele silo. De emissie is berekend m.b.v. balansberekening op

grond van Nkj-verschillen. Op deze manier wordt de emissie per maand of een veelvoud van maanden berekend. Aan het einde van de opslagperiode is de mest voor het uitrijden goed gemengd door de mest enkele malen in een tankwagen te zuigen en weer terug te pompen. De emissie is berekend volgens :

$$E = (Nkj_0 * MV_0 - Nkj_1 * MV_1) / A * \text{aantal dagen opslag} * 24 \quad (3)$$

waarin:

E = ammoniakemissie (mg NH<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>.uur)  
 Nkj<sub>0</sub>, Nkj<sub>1</sub> = resp. de concentratie totaal-N aan het begin en het eind van de periode, waarover de emissie wordt berekend (mg/l).  
 MV<sub>0</sub>, MV<sub>1</sub> = het mestvolume (m<sup>3</sup>)  
 A = oppervlak silo (m<sup>2</sup>)

De NH<sub>4</sub>-N concentratie in de mest is bepaald om enig begrip te krijgen van de omzettings- en transportprocessen in de mest. Om met de balansberekening te kunnen corrigeren voor neerslag en verdamping zijn ook de fosfaat- en drogestofgehaltes in de mest bepaald. Tevens werd hiertoe regelmatig het mestniveau gemeten. Voor een goede karakterisering van de mest zijn bovendien de pH en de vluchtige vetzuren gemeten.

Deze methode is vaak minder nauwkeurig dan de Lindvalldoosmethode, omdat het hier een verschildmeting betreft. Monsternamen en analyse gezamenlijk veroorzaken een onnauwkeurigheid van 20 % in het Nkj-gehalte. De mogelijke fout in de berekende emissie ligt hierdoor tussen de 100 % voor hoge emissies met lange opslagtijd en ver boven de 1000 % voor lage emissies met korte opslagtijd (voor de foutenanalyse zie bijlage IV).

Het reductiepercentage wordt berekend uit de gemiddelde emissie over de hele opslagperiode volgens vergelijking (2).

Omdat de meteorologische omstandigheden een grote invloed hebben op de emissie van ammoniak en omdat de verschillende metingen nooit onder exact dezelfde omstandigheden plaats zullen vinden, werden de volgende parameters verzameld:

- de neerslag is dagelijks gemeten. Wanneer er neerslag viel terwijl de monsternamedoos op een silo stond, is deze silo later bijgevuld met de hoeveelheid water die gevallen is.
- de windsnelheid en de temperatuur zijn overgenomen van de maandoverzichten van het meteorologisch waarnemingsstation van de Landbouwniversiteit in Wageningen. Deze gegevens zijn verzameld omdat zowel windsnelheid als temperatuur een grote invloed hebben op de emissiesnelheid.

### 3 RESULTATEN EN DISCUSSIE

#### 3.1 Periode februari-augustus 1987

De mest was afkomstig uit een ligboxenstal met een dichte vloer. Tien dagen lang werd de mest uit de stal verwijderd en in een put opgeslagen. Na roeren van de putinhoud werden de silo's met deze mest gevuld.

Op 25 februari 1987 zijn de vier minisilo's gevuld met mengmest. Na de eerste week met veel regen, is het tot bijna eind maart vriezend weer geweest. Al die tijd zijn de silo's bedekt geweest met een ijslaag, die gedurende de middag ontdooide en 's nachts weer snel aangroeide. Nadat de temperatuur eenmaal echt boven nul bleef, ontstond er na enkele weken ( 6 april ) op de mest van silo 1 een korst, die zich handhaafde totdat begin juli de korst door hevige regenbuien verdween. De korst heeft zich hierna niet meer hersteld. Ook in silo 2 vormde zich een korst op het moment dat er in silo 1 een korst ontstond. Deze korst is telkens opgebroken, omdat silo 2 als referentiesilo diende voor silo 1. De korst herstelde zich ook hier niet na de regen. Op de mest afkomstig van melkvee dat was gevoerd met een mixture van gras- en maissilage heeft zich tijdens de hele opslagperiode geen blijvende korst gevormd.

Opgemerkt moet worden dat de omstandigheden voor korstvorming nadelig beïnvloed kunnen zijn door het vervoer van de mest. In de praktijk zal de mest rechtstreeks van de stal in de silo worden gebracht en niet door en door gemengd worden zoals tijdens het transport van de mest naar de minisilo's is gebeurd. Een ander punt is dat de minisilo's een kleiner oppervlak hebben dan de silo's in de praktijk. Mogelijk is de grootte van het oppervlak van belang bij korstvorming.

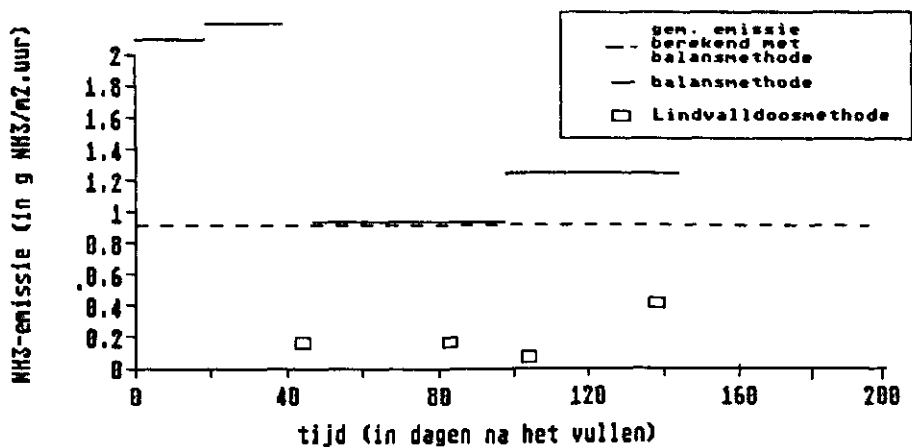
In de figuren 1a,1b,1c en 1d is het verloop van de emissie in de tijd weergegeven. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat de met de balansmethode berekende emissiecijfers over een tussenperiode slechts een benadering zijn van de werkelijk opgetreden emissie, omdat het erg moeilijk is een representatief mestmonster te nemen, zelfs uit een minisilo. De algemene trend is dat de emissie snel afneemt om vervolgens op een constant niveau te blijven. In tabel 1 zijn de resultaten van de emissiemetingen weergegeven. Bijlagen I en II bevatten de volledige meetresultaten.

Tabel 1: Resultaten van metingen van ammoniakemissie bij mini-silo's gevuld met rundveemengmest met een natuurlijk gevormde korst.

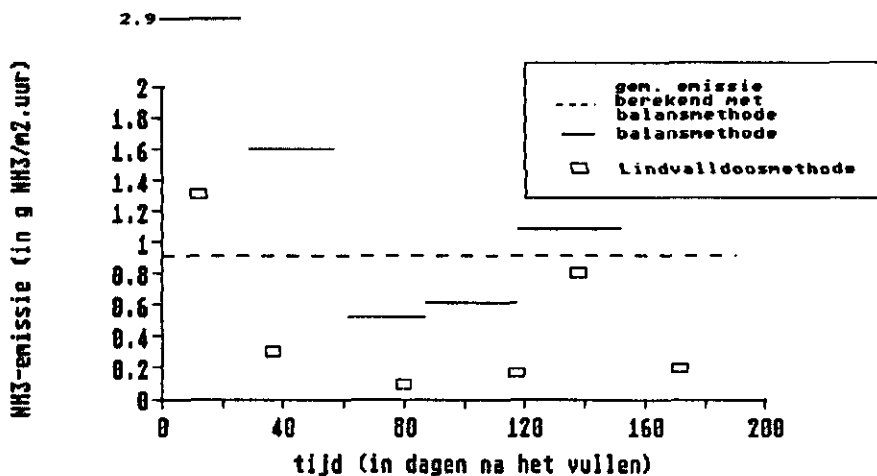
	balansmethode ( mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .uur)	Lindvalldoos (mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .uur)	
mest afkomstig van melkvee gevoerd met grassilage			
korst steeds doorbroken	916*	355	19%
korst intact gelaten		232	32%
-----			
mest afkomstig van melkvee gevoerd met gras/maissilage			
korst steeds doorbroken	952*	357**	25%
korst intact gelaten		380**	24%
-----			

\* de meststamenstelling van beide silo's was gelijk. Daarom is van beide silo's een mengmonster genomen.

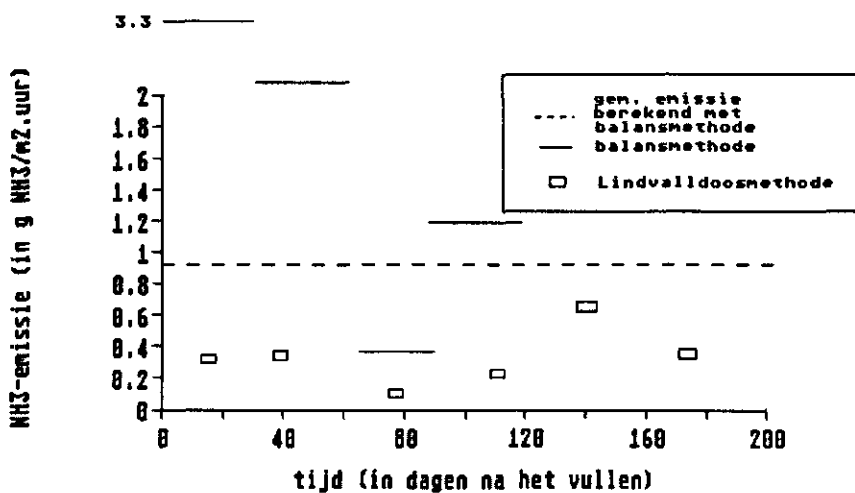
\*\* er vormde zich geen korst ; dit was een duplometing



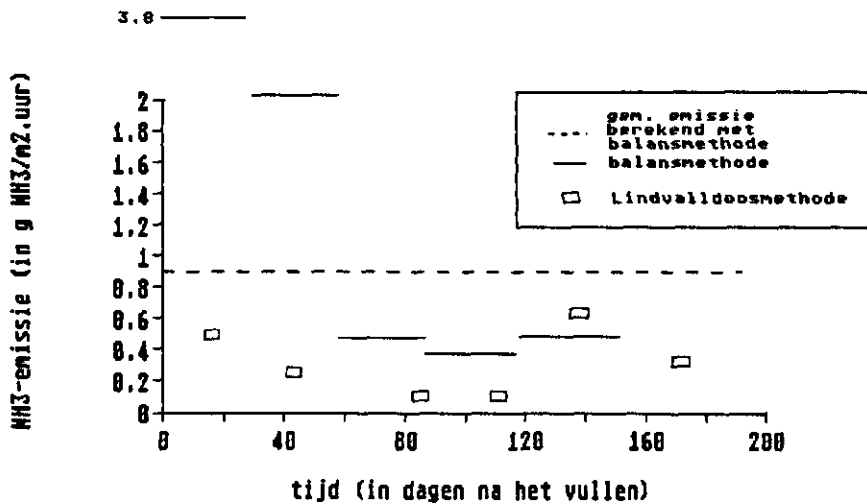
Figuur 1a: NH<sub>3</sub>-emissie tijdens de opslag van rundveemengmest. rantsoen: grassilage ; proefsilos



Figuur 1b:  $\text{NH}_3$ -emissie tijdens de opslag van rundveemengmest. rantsoen: grassilage ; controlesilo



Figuur 1c:  $\text{NH}_3$ -emissie tijdens de opslag van rundveemengmest. rantsoen: gras/maissilage ; proefsilo



Figuur 1d: NH<sub>3</sub>-emissie tijdens de opslag van rundveemengmest.  
rantsoen: gras/maissilage ; controlesilo

### 3.2 Periode september 1987 - mei 1988

Naar aanleiding van de resultaten van de eerste meetperiode is geprobeerd tijdens de tweede meetperiode de vorming van een korst te stimuleren door gehakseld stro aan de mest toe te voegen.

Op 14 september zijn vier silo's gevuld met mest afkomstig van rundvee, dat net een week op stal was gezet. De mest bevatte weinig toevoegingen van stro of ander vast materiaal. De mest was zodoende vrij dun. Het drogestofgehalte was bij aanvang van de proef ongeveer 8%. De eerste dagen na het vullen van de silo's was het prachtig weer voor de vorming van een korst: zonnig, temperaturen van rond de 20°C en er stond een stevige bries.

Bij silo 3 en 4 werd op de bodem gehakseld stro aangebracht, voordat de mest werd toegevoegd. Het meeste stro kwam aan één kant van de silo terecht, zodat de gevormde mestkorst niet overal even dik was. Bij de silo's met gehakseld stro was zeven uur na het vullen reeds een duidelijk verschil te zien met de twee andere silo's; de bovenlaag was een stuk dikker. De dag na het vullen waren silo 3 en 4, waaraan stro was toegevoegd, met een lichte korst bedekt. Wel was in alle silo's, dus ook in silo 3 en 4 gasvorming zichtbaar. Na twee dagen was de mest in silo 3 en 4 met een korst, die nog erg nat was, bedekt. Na vier dagen voldeden de korsten aan de definitie, zoals die in hoofdstuk 2 is beschreven. De korst had een dikte van 15-35 cm in silo 3 en in silo 4 een dikte van 13-20 cm. Ook na flinke regenval verdwenen

deze korsten niet meer. Silo 2, waarvan de eventueel gevormde korst intact gelaten zou worden, werd pas na een maand met een dun drijfvliesje bedekt. Dit vliesje verdween alweer bij de eerste regenperiode. Ook in silo 1 verscheen geen korst, daarom is de mest ook niet geroerd om de korst op te breken.

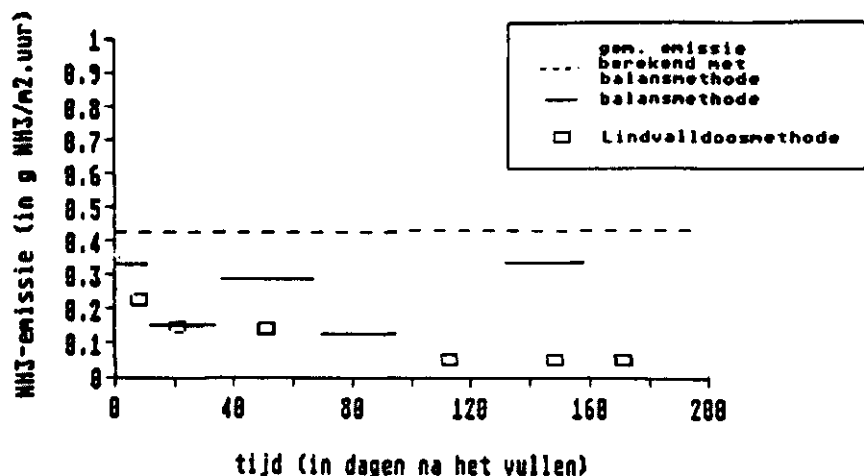
Tijdens de hele vulperiode trad er in alle silo's gasvorming op. In de silo's 3 en 4 ontsnapte er alleen wat gas langs de wand en af en toe wat door de korst. De silo's 1 en 2 zijn echter vaak helemaal bedekt geweest met een schuimlaag van gasbellen.

In figuur 2a, 2b, 2c en 2d is het verloop van de emissie in de tijd weergegeven. Van de silo's bedekt met een korst was het onmogelijk tussentijds een representatief mestmonster te nemen. Zodoende zijn in de grafieken van deze silo's slechts de metingen met de Lindvalldoos weergegeven. In bijlagen I en II zijn de volledige meetresultaten weergegeven. De gemiddelde ammoniakemissie volgens beide methoden was:

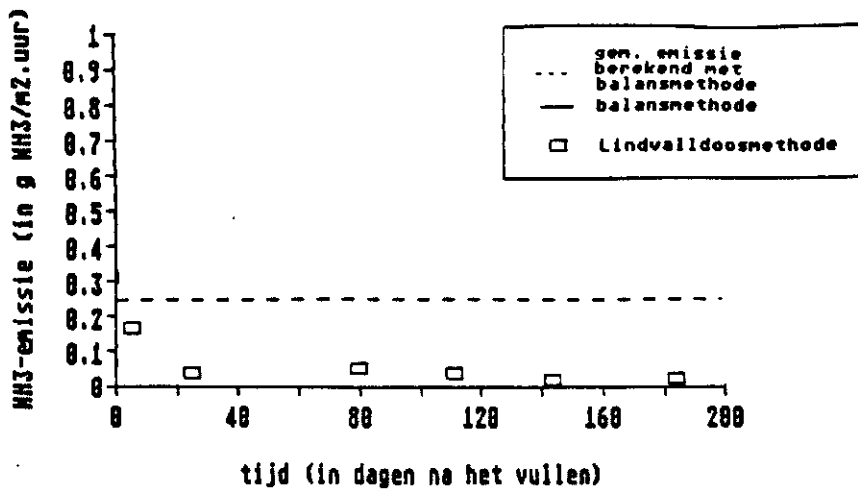
Tabel 2: Resultaten van metingen van ammoniakemissie bij minisilo's gevuld met rundveemengmest in de periode september 1987 - mei 1988

	balansmethode (mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .uur)	Lindvalldoosmethode (mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .uur)	
korst steeds doorbroken*	157	80	39%
korst intact gelaten*	419	89	47%
toevoeging van 7,5 kg stro/m <sup>2</sup>	176	32	47%
toevoeging van 4 kg stro/m <sup>2</sup>	238	30	42%

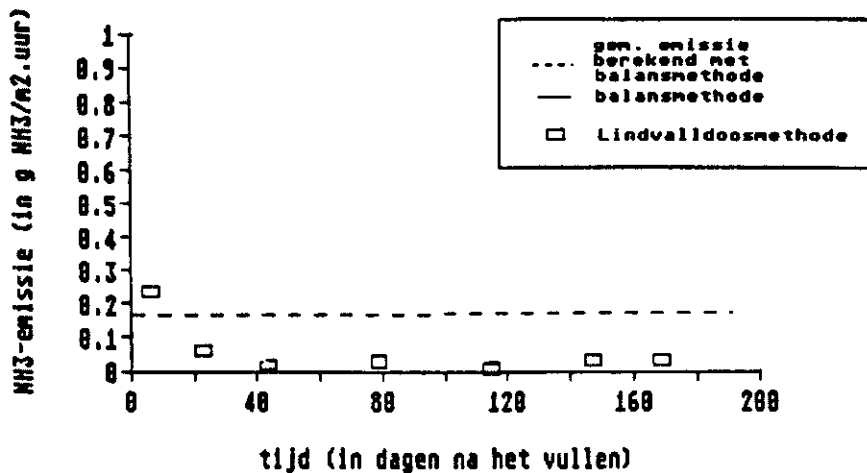
\* er is nooit een korst geweest, zodoende waren deze silo's identiek.



Figuur 2a: NH<sub>3</sub>-emissie bij natuurlijke korstvorming

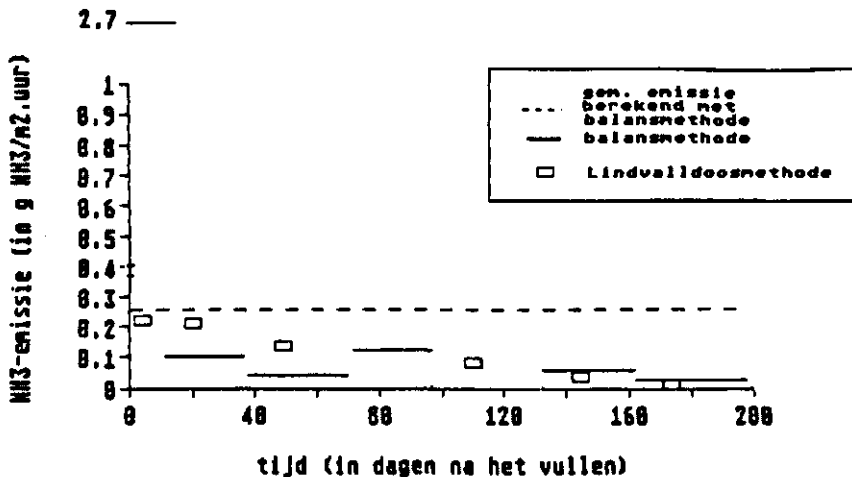


Figuur 2b: NH<sub>3</sub>-emissie bij toevoeging van 4 kg gehakseld stro/m<sup>2</sup> oppervlak



Figuur 2c: NH<sub>3</sub>-emissie bij toevoeging van 7.5 kg gehakseld stro/m<sup>2</sup> oppervlak





Figuur 2d: Controllesilo

### 3.3 Periode juni 1988 - augustus 1988

In deze periode zijn op 31 mei twee silo's gevuld met rundveemengmest. De mest was afkomstig van de proefboerderij van het IMAG te Duiven. De samenstelling van de mest kwam goed overeen met de mest die gebruikt werd tijdens de winteropslag (zie bijlage II).

Juni 1988 was een droge maand met relatief weinig zon. De gemiddelde middagtemperatuur bedroeg 19C met alleen midden in de maand een wat hogere temperatuur. Juli was weinig warmer maar veel natter. Er viel in juli 123 mm neerslag, dat is ongeveer tweemaal zoveel als de gemiddelde hoeveelheid neerslag van 70 mm. Augustus was een gemiddelde maand zonder uitschieters, dat betekent ongeveer 65 mm regen en een gemiddelde maximumtemperatuur van 23C.

Ook ditmaal vormde zich in de silo met strotoevoeging binnen enkele dagen een korst die voldoet aan de beschrijving in hoofdstuk 2. De korst werkte na enkele dagen al zodanig dat er geen mestgeur meer kon worden waargenomen. De nog aanwezige geur was afkomstig van het stro. Op de silo zonder strotoevoeging vormde zich wederom niet meer dan een klein vliesje, dat na elke regenbui weer verdween.

Bij de ammoniakemissie was de werking van de korst duidelijk meetbaar, de emissie uit de silo met korst was ongeveer 25 % van de emissie uit de silo zonder korst.

Tabel 3: Resultaten van metingen van ammoniakemissie bij minisilo's gevuld met rundveemengmest in de periode mei 1988-augustus 1988

	Balansmethode (mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .uur)	Lindvalldoosmethode (mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .uur)
silos zonder korst	604	253 14%
silos met korst	134	73 23%

In bijlagen I en II zijn de volledige meetresultaten weergegeven.

### 3.4 Emissiereductie van ammoniak

#### 3.4.1 Lindvalldoosmethode

In tabel 4 is de emissiereductie ten gevolge van korstvorming weergegeven, zoals die is berekend uit de gemeten emissies volgens de Lindvalldoosmethode.

Tabel 4: Reductie van de ammoniakemissie t.g.v. korstvorming; berekend uit de emissies gemeten volgens de Lindvalldoosmethode

	meetperiode	range	horizontaal gemiddelde	integraal gemiddelde
<hr/>				
natuurlijke korst				
mest afkomstig van melkvee gevoerd met:				
grassilage	zomer '87	0-65%	37% (0-75%)*	35% (0-75%)
gras/maissilage	zomer '87	n.v.t.		
<hr/>				
korst geforceerd met:				
4 kg stro/m <sup>2</sup> opp.	winter '87/88	23-89%	54% (0-80%)	65% (0-90%)
5 kg stro/m <sup>2</sup> opp.	zomer '88	55-86%	74% (60-80%)	71% (60-80%)
7,5 kg stro/m <sup>2</sup> opp.	winter '87/88	0-84%	46% (0-80%)	62% (0-90%)

\* de gemiddelde reductiepercentages zijn opgegeven met hun 95% betrouwbaarheidsinterval

M.b.v. de 95% betrouwbaarheidsintervallen in tabel 4 kan vastgesteld worden dat geforceerde korstvorming de ammoniakemissie vermindert. Tijdens de zomer reduceerde korstvorming de emissie met ongeveer 70%. De spreiding rond dit gemiddelde was gering. De emissiereductie tijdens de winteropslag is moeilijker te bepalen. De spreiding in de uitkomsten was nl. groot. Het

gemiddelde reductiepercentage van 50-60 % is daarom minder betrouwbaar dan het berekende reductiepercentage tijdens de zomeropslag.

Natuurlijke korstvorming lijkt de ammoniakemissie ook te verminderen. De grote spreiding in de resultaten maakt het echter niet mogelijk dit met zekerheid vast te stellen.

De twee manieren voor het bepalen van het gemiddelde reductiepercentage wijken weinig van elkaar af. Het verschil tussen beide methoden komt alleen naar voren bij de berekening van de gemiddelde reductiepercentages tijdens de winteropslag '87/88. Daar de emissie van de referentiesilo's in de tijd afnam, kende de integrale methode een groter gewicht toe aan de reductiepercentages aan het begin van de opslagperiode dan aan de reductiepercentages aan het einde van de opslagperiode. De horizontale methode kende elk gemeten reductiepercentage eenzelfde gewicht toe. Hierdoor is het berekende reductiepercentage met de horizontale methode in dit geval lager dan het reductiepercentage berekend met de integrale methode.

### 3.4.2 Balansmethode

In tabel 5 is de emissiereductie ten gevolge van korstvorming weergegeven, zoals die is berekend uit de gemeten emissies volgens de balansmethode.

Tabel 5: Reductie van de ammoniakemissie ten gevolge van korstvorming; berekend uit de gemeten emissies volgens de balansmethode

	meetperiode	reductie
-----		
natuurlijke korst		
mest afkomstig van		
melkvee gevoerd met:		
grassilage	zomer '87	0%
gras/maissilage	zomer '87	n.v.t.
-----		
korst geforceerd met:		
4 kg stro/m <sup>2</sup> opp.	winter '87/88	17%
5 kg stro/m <sup>2</sup> opp.	zomer '88	78%
7,5 kg stro/m <sup>2</sup> opp.	winter '87/88	39%
-----		

De resultaten vertonen eenzelfde beeld als de reductiepercentages verkregen met de Lindvalldoosmethode: een grote emissievermindering tijdens de zomer en een kleinere vermindering in de winter.

Uit bijlage IV blijkt dat de balansmethode voor lage emissies zeer onbetrouwbaar is. De reductiepercentages in tabel 5 zijn dus ook weinig betrouwbaar.

In bijlage II zijn de resultaten van de mestanalyses weergegeven. Uit deze resultaten blijkt dat het erg moeilijk is om, op grond van mestparameters, correcties uit te voeren op de eventuele verdunning van de mest door regenwater. Droge stof in de mest wordt door microbiële activiteit in de mest afgebroken en vervluchtigt vervolgens o.a. in de vorm van vluchtige vetzuren, CO<sup>2</sup> en methaan ( Patni en Jui, 1986). De afname van het drogestofgehalte kan dus niet worden gebruikt voor correctie van volumeverandering van de mest. Ook het fosfaatgehalte bleek door regenval sterker terug te lopen dan te verwachten en te verklaren zou zijn. In dit onderzoek is daarom bij de emissieberekening de verdunning van de mest door regen gecorrigeerd d.m.v. het geschatte mestvolume.

### 3.4.3 Vergelijking Lindvalldoosmethode - balansmethode

In tabel 6 zijn de emissies uit de niet afgedekte referentiesilo voor beide meetmethoden naast elkaar gezet. Een groot verschil tussen beide methoden is de luchtsnelheid over het mestoppervlak. De Lindvalldoosmethode legt een luchtsnelheid op van 1 m/s. De werkelijk opgetreden windsnelheid op 2 m is echter 2-3 m/s. Dit is de luchtsnelheid waarmee in feite de balansmethode rekent.

Uit bijlage III blijkt dat een lineair verband tussen windsnelheid en emissiesnelheid een redelijke benadering is. In tabel 6 zijn de emissies volgens de Lindvalldoosmethode daarom weergegeven na vermenigvuldiging met de windsnelheid op 2 m hoogte.

Zoals in hoofdstuk 2 is beschreven, is de gemiddelde emissie volgens de Lindvalldoosmethode een gewogen gemiddelde. Elk berekend daggemiddelde is representatief verondersteld voor een bepaalde periode. De emissies in onderstaande tabel zijn berekend door de etmaalgemiddelde emissie te vermenigvuldigen met de gemiddelde windsnelheid van de periode, waarvoor het etmaalgemiddelde representatief is verondersteld.

Tabel 6 : Ammoniakemissie verkregen door vermenigvuldiging van Lindvalldoosresultaten met de windsnelheid op 2 m hoogte, gemeten op het meteorologisch station Haarweg te Wageningen.

	Zomer		Winter		Zomer	
Opslagperiode	25/2/87-10/8/87		14/9/87-16/5/88		31/5/88-15/8/88	
mest afkomstig van melkvee gevoerd met silage van:	gras	gras/mais	gras	gras/mais	gras	gras/mais
<hr/>						
Emissie niet afgedekte silo in mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .uur						
Lindvalldoos	919	977	-	293	-	675
balansmethode	916	952	-	338	-	604

De berekende emissie in tabel 6 blijkt in dezelfde orde van grootte te liggen als de emissie bepaald volgens de balansmethode. Een exacte vergelijking kan niet gemaakt worden omdat de windsnelheid over de silo's niet precies overeen zal komen met de windsnelheid op 2 m hoogte op het meteostation Haarweg van de Landbouwniversiteit.

Het verschil in emissie tussen zomer- en winteropslag komt uit bovenstaande tabel duidelijk naar voren. De berekende emissie tijdens de zomer was twee tot viermaal hoger dan in de winter.

Gezien de foutenanalyse in bijlage IV verdient qua nauwkeurigheid de Lindvalldoosmethode de voorkeur boven de balansmethode, mits er genoeg waarnemingen met de Lindvalldoos zijn.

#### 4 CONCLUSIES

- Natuurlijke korstvorming was sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. In dit onderzoek ontstond in veel gevallen geen korst op de mest. Toen een korst gevormd werd, ontstond deze pas ruim een maand na het inbrengen van de mest in de minisilo. Deze korst handhaafde zich drie maanden, maar na twee dagen van hevige regen in juli 1987 verdween de korst en herstelde zich niet meer. Korstvorming bij mest van met gras-/maissilage gevoerd melkvee verloopt aanzienlijk trager dan korstvorming bij mest van slechts met grassilage gevoerde dieren. Een mogelijke oorzaak van de trage korstvorming is het verschil tussen praktijk- en proefomstandigheden. De afmetingen van de silo's zijn anders en het mestvervoer van de stal naar de silo verschilt.

Korstvorming is te forceren door gehakseld stro aan de mest toe te voegen. De mestkoek die zich dan vormt ontstaat snel. Binnen vier dagen heeft de korst zich gevormd. De minimale hoeveelheid stro die in dit onderzoek is toegevoegd, is 4 kg gehakseld stro/m<sup>2</sup>. Toevoeging van meer stro lijkt bij minisilo's geen effect te hebben.

- Uit een foutenanalyse blijken de resultaten van de Lindvalldoosmethode betrouwbaarder dan de uitkomsten van de balansmethode.
- De ammoniakemissie van open silo's zonder korst blijkt seizoensafhankelijk te zijn. De emissie tijdens de zomeropslag bedroeg 600 -1000 mg NH<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>.uur, terwijl tijdens de winteropslag de emissie niet boven de 400 mg NH<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>.uur uitkwam.

De metingen met de Lindvalldoos wijzen er op dat een natuurlijk gevormde korst de ammoniakemissie vermindert. Het uitblijven van een permanente natuurlijke korst maakt het echter moeilijk de emissiereductie van ammoniak ten gevolge van natuurlijke korstvorming te meten.

De door stro geïnduceerde mestkorst heeft een duidelijk remmende werking op de emissie van ammoniak. Het reductiepercentage bepaald met de Lindvalldoosmethode varieerde in de winter van 0% tot 90 % met een gemiddelde reductie van ongeveer 50 %. In de zomer varieerde het reductiepercentage van 55% tot 86 % met een gemiddelde reductie van 74 %.

## Literatuur

- Asman, W.A.H. (1987)  
Atmospheric behaviour of ammonia and ammonium. Proefschrift  
aan de Landbouwniversiteit te Wageningen
- Freney, J.R., Simpson, J.R., Denmead, O.T. (1981)  
Ammonia volatilization in Terrestrial Nitrogen Cycles,  
Clark, F.E. and Rosswall, T (eds). Ecol. Bull. (Stockholm)  
33:291-302
- Lindvall, T., Noren, O., Thyselius, L. (1974)  
Odour reduction for liquid manure systems, Transactions of  
the ASAE, pp 508-512
- Patni, N.K., Jui, P.Y. (1986)  
Changes in solids and carbon content of dairy-cattle slurry  
in farm tanks. Research Branch, Agriculture Canada Ottawa,  
Ontario, Canada, K1A0C6

## Bijlage I

Ammoniakemissie berekend met de Lindvalldoosmethode

Zomeropslag 1987

## silo 1

	tijd (in dagen na vullen)	gem. NH <sub>3</sub> -emissie (in mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .h)	interval (in dagen)	emissiereductie
meting 1	14	4473,31*	0	
meting 2	44	159,74 42%	63,5	48% (-7%-75%)**
meting 3	83	165,35 56%	30	-10% (-23%-64%)
meting 4	104	69,57 158%	27,5	65% (-5%-100%)
meting 5	138	414,09 14%	61	45% (25%-60%)
meting 6				
gem.		232,29 32%		37% (-1%-75%)

## silo 2

	tijd (in dagen na vullen)	gem. NH <sub>3</sub> -emissie (in mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .h)	interval (in dagen)	emissiereductie
meting 1	16	1382,22*	0	n.v.t.
meting 2	45	308,59 24 %	64,5	n.v.t.
meting 3	84	162,89 34 %	30,5	n.v.t.
meting 4	106	205,93 9 %	27,5	n.v.t.
meting 5	139	801,83 15 %	36	n.v.t.
meting 6	178	224,02 15 %	23,5	n.v.t.
gem.		355,31 19 %		

## silo 3

	tijd (in dagen na vullen)	gem. NH <sub>3</sub> -emissie (in mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .h)	interval (in dagen)	emissiereductie
meting 1	17	284,31 38 %	18	n.v.t.
meting 2	46	354,67 23 %	47,5	n.v.t.
meting 3	85	122,70 26 %	30,5	n.v.t.
meting 4	107	223,91 16 %	27,5	n.v.t.
meting 5	140	752,47 16 %	35	n.v.t.
meting 6	177	468,83 42 %	23,5	n.v.t.
gem.		380,32 24 %		



silo 4

	tijd (in dagen na vullen)	gem. NH <sub>3</sub> -emissie (in mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .h)		interval (in dagen)	emissiereductie
meting 1	18	517,03	48 %	19	n.v.t.
meting 2	47	258,96	12 %	47,5	n.v.t.
meting 3	86	159,40	42 %	30,5	n.v.t.
meting 4	108	163,33	14 %	27,5	n.v.t.
meting 5	141	715,31	20 %	35	n.v.t.
meting 6	171	420,49	28 %	23,5	n.v.t.
gem.		356,83	25 %		

\* hoge waarde opgetreden door ontdooien van de ijslaag op de mest

\*\* 95 % betrouwbaarheidsinterval van het berekende reductiepercentage

Winteropslag 1987/1988

silos 1

	tijd (in dagen na vullen)	gem. NH <sub>3</sub> -emissie (in mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .h)		interval (in dagen)	emissiereductie
meting 1	1	210,55	20 %	4	n.v.t.
meting 2	22	205,77	44 %	32	n.v.t.
meting 3	50	120,56	41 %	45	n.v.t.
meting 4		-			
meting 5	111	96,80	25 %	49,5	n.v.t.
meting 6	148	37,56	23 %	31,5	n.v.t.
meting 7	174	9,44	117 %	83	n.v.t.
gem.		80,04	39 %		

silos 2

	tijd (in dagen na vullen)	gem. NH <sub>3</sub> -emissie (in mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .h)		interval (in dagen)	emissiereductie
meting 1	9	233,35	27 %	4	n.v.t.
meting 2	23	156,88	46 %	33	n.v.t.
meting 3	51	145,73	24 %	45	n.v.t.
meting 4		-			
meting 5	112	55,99	96 %	48,5	n.v.t.
meting 6	147	61,95	34 %	29	n.v.t.
meting 7	170	54,63	58 %	85,5	n.v.t.
gem.		89,19	47 %		

silos 3

	tijd (in dagen na vullen)	gem. NH <sub>3</sub> -emissie (in mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .h)		interval (in dagen)	emissiereductie
meting 1	3	221,73	32 %	4	0% (-42%-45%)**
meting 2	24	55,52	41 %	30	69% (-21%-88%)
meting 3	44	21,86	66 %	27,5	84% (60%-96%)
meting 4	79	19,19	48 %	35,5	
meting 5	114	14,47	55 %	34	81% (40%-94%)
meting 6	146	32,59	60 %	27	34% (-33%-80%)
meting 7	168	30,43	46 %	87	5% (-76%-69%)
gem.		32,06	47 %		46% (-8%-79%)

silo 4

	tijd (in dagen na vullen)	gem. NH <sub>3</sub> -emissie (in mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .h)	interval (in dagen)	emissiereductie
meting 1	4	170,15	16 %	23% (-14%-48%)**
meting 2	25	20,26	16 %	89% (-76%-94%)**
meting 3		-		
meting 4	78	52,34	31 %	
meting 5	106	32,28	84 %	58% (-37%-95%)
meting 6	142	12,36	70 %	75% (40%-94%)
meting 7	167	24,56	46 %	23% (-70%-75%)
gem.		30,18	42 %	54% (-1%-81%)

\*\* 95 % betrouwbaarheidsinterval van het berekende reductiepercentage

Zomeropslag 1988

silos 3

	tijd (in dagen na vullen)	gem. NH <sub>3</sub> -emissie (in mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .h)		interval (in dagen)	emissiereductie
meting 1	20	280,51	17 %	28	n.v.t.
meting 2	36	229,48	12 %	15	n.v.t.
meting 3	50	284,32	11 %	14	n.v.t.
meting 4	64	222,75	12 %	27	n.v.t.
gem.		253,47	14 %		

silos 4

	tijd (in dagen na vullen)	gem. NH <sub>3</sub> -emissie (in mg NH <sub>3</sub> /m <sup>2</sup> .h)		interval (in dagen)	emissiereductie
meting 1	21	126,00	24 %	29	55% ( 33%-71% )**
meting 2	37	48,57	21 %	15	79% ( 71%-85% )
meting 3	51	68,65	20 %	13	76% ( 67%-83% )
meting 4	63	32,15	22 %	27	86% ( 80%-90% )
gem.		73,13	23 %		74% ( 63%-82% )

\*\* 95 % betrouwbaarheidsinterval van het berekende reductiepercentage

Bijlage II

Analyseresultaten van de mestmonsters

Zomeropslag 1987

silos 1

		25/2	25/3	27/4	25/5	24/6
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2730	2790	2950	2860	2910
Nkj	(mg/l)	6850	6050	4850	4550	4670
P	(mg/l)	870	660	630	835	650
K	(mg/l)	5000	6100			
pH		7,8	7,5	7,4	7,2	6,9
droge stof	(g/kg)	105	96	95,2	95,8	80,7
volume	(l)	4840				
		29/7	25/8			
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2570	2540			
Nkj	(mg/l)	4040	4770			
P	(mg/l)	535	978			
K	(mg/l)					
pH		7,2	7,5			
droge stof	(g/kg)	83	91,2			
volume	(l)		5200			

silos 2

		25/2	25/3	27/4	25/5	24/6
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2730	2790	2775	2850	2780
Nkj	(mg/l)	6850	5730	5010	4865	5040
P	(mg/l)	870	745	785	835	820
K	(mg/l)	5000	5900			
pH		7,8	7,5	7,5	7,3	7,1
droge stof	(g/kg)	105	98	98,6	100	97,8
volume	(l)	4840				
		29/7	25/8			
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2670				
Nkj	(mg/l)	4610	4770			
P	(mg/l)	700	978			
K	(mg/l)					
pH		7,1				
droge stof	(g/kg)	74,3	91,2			
volume	(l)		5200			

silo 3

		25/2	25/3	27/4	25/5	24/6
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2470	2650	2750	2750	2680
Nkj	(mg/l)	6490	5250	4300	4250	4140
P	(mg/l)	560	440	475	520	445
K	(mg/l)	4000	4200			
pH		8,2	7,9	7,2	7,1	7,1
droge stof	(g/kg)	86,8	76,2	76,9	73,7	64,8
volume	(l)	4840				

29/7      25/8

NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2760	2500
Nkj	(mg/l)	4180	4300
P	(mg/l)	485	690
K	(mg/l)		
pH		7,2	
droge stof	(g/kg)	69,4	69,2
volume	(l)		4900

silo 4

		25/2	25/3	27/4	25/5	24/6
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2470	2710	2650	2630	2690
Nkj	(mg/l)	6490	5060	4070	4390	4500
P	(mg/l)	560	470	485	495	470
K	(mg/l)	4000				
pH		8,2	8	7,2	7,2	7,1
droge stof	(g/kg)	86,8	77,1	76,9	78,8	72,9
volume	(l)	4840				

29/7      25/8

NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2510	2500
Nkj	(mg/l)	4280	4300
P	(mg/l)	500	690
K	(mg/l)		
pH		7,2	
droge stof	(g/kg)	68,6	69,2
volume	(l)		4900

Winteropslag 1987/1988

silos 1

		begin	25/9	21/10	23/11	21/12
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2930	2580	2590	2415	2300
Nkj	(mg/l)	5000	4600	4500	4300	4000
P	(mg/l)	690	480	510	418	395
pH		7,5	7,7	7,8	7,7	7,7
droge stof	(g/kg)	82	77	81	60	72
Tot VVZ	(mg/l)	8100	5775	4847	3411	3431
volume	(l)	4777	4834	4905	5103	5273
		26/1	23/2	22/3	eind(09/5)	
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2250	2130	2050	2100	
Nkj	(mg/l)	3900	3600	3500	3700	
P	(mg/l)	429	482	300	543	
pH		7,7	7,7	7,6	8	
droge stof	(g/kg)	71		60	56	
Tot VVZ	(mg/l)	2625	2680	2540		
volume	(l)	5613	5952	6065	5895	

silos 2

		begin	25/9	21/10	23/11	21/12
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2930	2770	2510	2520	2510
Nkj	(mg/l)	5000	4900	4700	4350	4100
P	(mg/l)	690	550	475	455	395
pH		7,5	7,6	7,8	7,7	7,6
droge stof	(g/kg)	82	83	70	72	70
Tot VVZ	(mg/l)	8100	5590	4950	3550	4038
volume	(l)	4734	4791	4933	5060	5245
		26/1	23/2	22/3	eind(09/5)	
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2500	2130	2130	2000	
Nkj	(mg/l)	4100	3300	3585	3100	
P	(mg/l)	390	345	295	343	
pH		7,6	7,7	7,6	8	
droge stof	(g/kg)	69		61	57	
Tot VVZ	(mg/l)	3226	2680	2372		
volume	(l)	5613	5961	6032	5833	

silo 3

		begin	25/9	21/10	23/11	21/12
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2930	2780	2900	2800	2660
Nkj	(mg/l)	5000	4700	4800	4200	4300
P	(mg/l)	690	525	670	317	441
pH		7,5	7,6	7,7	7,6	
droge stof	(g/kg)	82	82	78	67	77
Tot VVZ	(mg/l)	8100	4545	5208	4275	4642
volume	(l)	4664	4720	4848	5018	5160

26/1      23/2      22/3      eind(09/5)

NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2810	2360	2740	2300
Nkj	(mg/l)	4400	4700	4350	3500
P	(mg/l)	445	450	355	314
pH		7,8	7,6	7,5	8
droge stof	(g/kg)	72		68	61
Tot VVZ	(mg/l)	4030	3331	4214	
volume	(l)	5486	5933	6075	5990

silo 4

		begin	25/9	21/10	23/11	21/12
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2930	2700	2820	2730	2600
Nkj	(mg/l)	5000	4950	4500	4100	4500
P	(mg/l)	690	545	575	365	475
pH		7,5	7,6	7,7	7,6	7,6
droge stof	(g/kg)	82	81	72	68	70
Tot VVZ	(mg/l)	8100		4982	4045	4590
volume	(l)	4706	4763	4876	5032	5160

26/1      23/2      22/3      eind(09/5)

NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	2430	2410	2320	2300
Nkj	(mg/l)	4400	3800	4400	3500
P	(mg/l)	515	415	580	314
pH		7,7	7,7	7,5	8
droge stof	(g/kg)	71		60	55
Tot VVZ	(mg/l)	4685	3720	2827	
volume	(l)	5514	5788	5887	5816



Zomeropslag 1988

silos 3

		begin	eind
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	3100	2600
Nkj	(mg/l)	5000	4500
P	(mg/l)	330	385
pH		7.3	7.6
droge stof	(g/kg)	81	73
volume	(l)	4522	4494

silos 4

		begin	eind
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	3100	2900
Nkj	(mg/l)	5000	4800
P	(mg/l)	330	360
pH		7.3	7.7
droge stof	(g/kg)	81	76
volume	(l)	4607	4706

## Bijlage III

### De relatie tussen windsnelheid en emissiesnelheid

In dit onderzoek worden twee methoden gebruikt om de emissie van ammoniak te bepalen nl. de Lindvalldoosmethode en de balansmethode (Zie voor beide methoden hoofdstuk 2 in het verslag). Bij het gebruik van beide methoden blijkt er een groot verschil te bestaan in de uitkomsten van de berekende emissie. Het verschil in luchtsnelheid over de silo zou een verklaring kunnen zijn. Hieronder volgt een theoretische beschouwing over de relatie tussen de emissie van ammoniak en de luchtsnelheid.

De emissie van ammoniak uit een silo is te beschrijven als een verticale flux. Monteith (Monteith,1973) geeft de massa-transportflux als volgt:

$$F = ShD(C_s - C) / d \quad (1)$$

waarbij  $F$  = massaflux van een gas per eenheid oppervlakte

$C_s, C$  = gemiddelde concentratie van een gas aan het oppervlak en in de vrije atmosfeer

$D$  = moleculaire diffusiecoëfficiënt van het gas in lucht

$d$  = de lengte van het oppervlak waarover de lucht wordt geleid.

$Sh$  = het Sherwood getal. Een dimensieloos getal dat de ratio geeft van de actuele flux  $F$  en de flux die op zou treden als het zelfde concentratieverschil op zou treden over een stilstaande luchtlaag van dikte  $d$ .

Het Sherwood getal kan ook uitgedrukt worden als een functie van een aantal andere dimensieloze getallen. Bijvoorbeeld op de volgende manier (Jacobs en Welgraven,1988) :

$$Sh = 0.032.Sc^{0.33}.Re^{0.8} \quad (\text{turbulente stroming}) \quad (2)$$

$$Sh = 0.664.Sc^{0.33}.Re^{0.5} \quad (\text{laminaire stroming}) \quad (3)$$

waarbij

$Sc$  = het Schmidt getal

$Re$  = het Reynolds getal

Het Reynoldsgetal geeft aan of een stroming laminair of turbulent is. Het Reynoldsgetal kan als volgt worden berekend (Monteith,1973):

$$Re = Vl/v \quad (4)$$

waarbij

$V$  = de stromingssnelheid

$l$  = lengte

$v$  = kinematische viscositeit van lucht

Bij een plat vlak is gegeven dat de stroming turbulent is als  $Re$  groter is dan  $2 \cdot 10^4$ . In het geval van de minisilo's is de stromingssnelheid in het geval dat de Lindvalldoos er overheen staat  $1 \text{ m/s}$ , de lengte in de Lindvalldoos bedraagt  $2 \text{ meter}$  en de kinematische viscositeit  $1.5 \cdot 10^{-5}$ , zodat  $Re = 1.33 \cdot 10^5$ . Dus is de stroming in de doos turbulent. Uit de vergelijkingen (1) en (2) blijkt de flux evenredig te zijn met  $Re^{0.8}$  en dus ook met de luchtsnelheid tot de macht  $0,8$ . (vergelijking (4)).

Freney (Freney et al, 1981) en Denmead (Denmead et al, 1982) komen tot de conclusie dat de emissie van ammoniak uit een oppervlakte ongeveer rechtevenredig is met de windsnelheid. Zij stellen dat de vervluchtiging veroorzaakt wordt door een verschil in dampdruk, in formulevorm zo:

$$F = K_g (P_s - P_0) \quad (5)$$

waarbij:

$K_g$  = massatransportcoëfficiënt die afhankelijk is van temperatuur en windsnelheid  
 $P_s, P_0$  = dampdrukken van resp. de oplossing en de omgeving.

Er bestaat echter geen simpele formule waarbij uit de windsnelheid en de temperatuur  $K_g$  kan worden bepaald. Uit diverse experimenten bleek  $K_g$  met toenemende windsnelheid lineair toe te nemen. (Fauri en Bardin, 1971, Freney et al, 1981, Freney et al, 1983, McGill et al, 1981, Liss en Slater, 1974, Webb, 1965).

Ondanks het verschil in resultaat van beide benaderingswijzen lijkt het gerechtvaardigd op grond van deze beschouwing de emissieresultaten verkregen uit de Lindvalldoosmethode te vermenigvuldigen met de in werkelijkheid opgetreden windsnelheid. Het is immers de bedoeling een benadering van de werkelijk opgetreden emissie te geven.

## Literatuur

- Clark, F.E., Rosswall, T. (ed) (1981)  
Terrestrial nitrogen cycles. Processes Ecosystem strategies  
and management impacts.  
Ecological Bulletins Stockholm 33
- Denmead, O.T., Freney, J.R., Simpson, J.R. (1982)  
Dynamics of ammonia volatilization during furrow irrigation  
of maize.  
Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 89-95
- Fauri, G., Bardin, R. (1971)  
Effect de l'apport d'azote organique et inorganique a des  
sols de pelouses xerophiles: influence du phosphore.  
Soil Biol. Biochem. 3: 57-67
- Freney, J.R., Denmead, O.T., Watanabe, I., Craswell, E.T. (1981)  
Ammonia and nitrous oxide losses following applications of  
ammonia sulfate to flooded rice.  
Austr. J. Agric. Res. 32: 37-45
- Freney, J.R., Simpson, J.R. (1983)  
Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. Develop-  
ments in plant and soil sciences.  
vol. 9 Nijhoff/Junk Den Haag
- Liss, P.S., Slater, P.G. (1974)  
Flux of gasses across the air-sea interface.  
Nature 247: 181-184
- McGill, W.B., Hunt, H.W., Woodmansee, R.G., Reuss, J.O. (1981)  
-Phoenix-A model of the dynamics of carbon and nitrogen in  
grassland soils.  
in: Clark and Rosswall 1981
- Monteith, J.L. (1973)  
Principles of environmental physics.  
Edward Arnold, Port Melbourne, Australia
- Webb, E.K. (1965)  
Aerial microclimate  
Waggoner, P.E. (ed), Agricultural meteorology. Meteorol. Mo-  
nographs 6 American Meteorological Society.

## Bijlage IV

### Foutenanalyse

Bij ieder experiment zullen de meetuitkomsten afwijken van de werkelijke waarde. De afwijking die de meetuitkomst van de werkelijke waarde kan hebben wordt fout of onnauwkeurigheid genoemd. Er worden twee typen fouten onderscheiden. De **grootst mogelijke fout** is de helft van het interval, waarbinnen de werkelijke waarde met zekerheid ligt. De **statistische fout** is de helft van het interval, waarbinnen de werkelijke waarde wordt geacht met 95 % kans te liggen.

Dikwijls is het echter onmogelijk om precies de grenzen aan te geven waarbinnen de werkelijke waarde ligt. Ook zijn niet alle oorzaken die invloed hebben op de meting bekend. Vandaar dat het getal waarmee de fout in een meting wordt voorgesteld geen exacte betekenis heeft. De fout geeft slechts een indruk van de nauwkeurigheid van de meting.

#### De mogelijke fout

Een fout is op verschillende manieren weer te geven: absoluut of relatief. Wanneer een fysische grootheid  $x$  wordt gemeten en de meetuitkomst is  $x_0$  en de bijbehorende **mogelijke fout** is  $x$ , dan geldt:

$$\begin{aligned} \text{de absolute fout} &= \Delta x \\ \text{de relatieve fout} &= \Delta x/x_0 \end{aligned}$$

De emissie wordt berekend uit een aantal fysische grootheden, ieder met een mogelijke fout  $x$ . De mogelijke fout in de emissie is opgebouwd uit de mogelijke fouten van de afzonderlijke fysische grootheden. In onderstaande tabel is weergegeven hoe afzonderlijke meetuitkomsten door kunnen werken in een eindresultaat.

Tabel 7 : Doorwerkingsformules van enige veel voorkomende functies.

functie	doorwerkingsformule
$f = a + b$	$\Delta f = \Delta a + \Delta b$
$f = a - b$	$\Delta f = \Delta a + \Delta b$
$f = a * b$	$\Delta f/f = \Delta a/a + \Delta b/b$
$f = a/b$	$\Delta f/f = \Delta a/a + \Delta b/b$

#### De statistische fout

De spreiding van de meetresultaten is een maat voor de nauwkeurigheid van de metingen. M.b.v. de spreiding in de meetuitkomsten kan het 95 % betrouwbaarheidsinterval worden berekend.

In het navolgende is de onnauwkeurigheid in de berekende emissie van de twee bepalingmethoden bepaald. Van de Lindvalldoosmethode zijn zowel de mogelijke als de statistische fout zijn berekend en van de balansmethode is alleen de mogelijke fout berekend, omdat het van de balansmethode niet mogelijk was een statistische fout te bepalen ten gevolge van het gering aantal metingen.

### Lindvalldoosmethode

#### De mogelijke fout

De Lindvalldoosmethode berekende de emissie m.b.v. onderstaande formule. (zie ook hoofdstuk 2).

$$E = ((C_{NH_3_{av}} * V_{av} / AV_{av})_{uit} - (C_{NH_3_{av}} * V_{av} / AV_{av})_{in}) * VS * 3600 / A$$

waarin:

- E = ammoniakemissie (mg NH<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>.uur)
- C NH<sub>3<sub>av</sub></sub> = ammoniakconcentratie in absorptievloeistof (mg NH<sub>3</sub>/l)
- V<sub>av</sub> = volume absorptievloeistof (ml)
- AV<sub>av</sub> = luchtvolume dat door absorptievloeistof is gezogen (m<sup>3</sup>)
- VS = volume lucht dat over de silo is geblazen (m<sup>3</sup>/s)
- A = oppervlakte silo (m<sup>2</sup>)

De mogelijke fout in de emissie wordt als volgt berekend.

$$\Delta C / C + \Delta VS / VS + \Delta A / A$$

waarin:

$$C = ((C_{NH_3_{av}} * V_{av} / AV_{av})_{uit} - (C_{NH_3_{av}} * V_{av} / AV_{av})_{in})$$

en

$$\Delta C = \Delta C_{uit} + \Delta C_{in}$$

waarin:

$$\Delta C_{uit} = (C_{NH_3_{av}} / NH_{3_{av}} + \Delta V_{av} / V_{av} + \Delta AV_{av} / AV_{av}) * C_{uit}$$

$$\Delta C_{in} = (C_{NH_3_{av}} / NH_{3_{av}} + \Delta V_{av} / V_{av} + \Delta AV_{av} / AV_{av}) * C_{in}$$

waarin:

$$C_{in} = (C_{NH_3_{av}} * V_{av} / AV_{av})_{in}$$

$$C_{uit} = (C_{NH_3_{av}} * V_{av} / AV_{av})_{uit}$$

De ammoniakconcentratie in de absorptievloeistof (C NH<sub>3<sub>av</sub></sub>) kan met een nauwkeurigheid van 4% tot 5% bepaald worden voor waarden van 2 tot 5 mg/l en met een nauwkeurigheid van 5% tot 10% voor waarden < 1 mg/l. De toevallige fout die ontstaat door opname en afgifte van ammoniak door condens in de slang wordt hier op 15% geschat. Condens in de monsternameslang kan veel ammoniak bevatten en zodoende een grote bron van fouten zijn. De meetopstelling bij de minisilo's is echter zodanig dat eventueel gevormd condens in de monsternamesflenzen terecht komt. De

monsternameslang loopt immers omlaag en bovendien wordt de gevormde condens aangezogen.

De relatieve fout in de ammoniakconcentratie bedraagt dus 19% tot 25 %.

Het volume van de absorptievloeistof kan met een nauwkeurigheid van 2% worden bepaald.

Het luchtvolume, dat door de absorptievloeistof is gezogen, kan met een nauwkeurigheid van 4 % worden gemeten.

De afwijking in het luchtvolume, dat over de silo is geblazen, zal hooguit 25 % bedragen. Deze afwijking is van belang voor de vertaling van de uitkomsten van de Lindvalldoosmethode naar de praktijk. Voor de onderlinge vergelijking van de silo's speelt deze factor een kleinere rol. Alle silo's worden immers met dezelfde doos onder dezelfde omstandigheden gemeten.

De afwijking in het oppervlak van de silo's is ongeveer 0,5 %.

De nauwkeurigheid van de berekende emissie wordt nu voor vier gevallen berekend: van zowel de winter- als de zomeropslag is voor een hoge en een lage emissie de mogelijke fout geschat. De emissies die in onderstaande berekening worden gebruikt komen overeen met gemeten emissies.

#### Opslag winter '87/88

Eerst de situatie van een lage emissie. De luchtconcentratie van de uitgaande lucht wordt gesteld op  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en de concentratie van de ingaande lucht  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dit komt overeen met een emissie van  $10 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ .

De relatieve fout in de berekende  $C_{in}$  en  $C_{uit}$  is  $25+2+4=31$  %.  
Hieruit volgt voor de relatieve fout in C :

$$\Delta C/C = (7,75 + 4,65)/(25 - 15) = 124 \%$$

De mogelijke fout in de berekende emissie voor lage emissies wordt dan 124 % plus 25 % van de onnauwkeurigheid in het luchtvolume over de doos = 149 %.

Voor hoge emissies is de berekening nauwkeuriger. Voor dit voorbeeld wordt een regelmatig voorkomende hoge concentratie van de uitgaande lucht gebruikt van  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en dezelfde concentratie van de ingaande lucht als bij het voorbeeld voor lage emissies. Dit komt overeen met een emissie van  $240 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ .

De relatieve fout in de bepaling van  $C_{uit}$  is dan  $19+2+4=25$  %, voor  $C_{in}$  geldt dan nog steeds  $C_{in}/C_{in} = 31$  %, zoals in het voorgaande voorbeeld is berekend.

Hieruit volgt voor de relatieve fout in C in het geval van een hoge emissie:

$$\Delta C/C = (62,5 + 4,65) / (250 - 15) = 29 \%$$

Voor hoge emissies is de mogelijke fout in de berekende emissie dan  $29 + 25 = 54$  % .

### Opslag zomer '88

De emissies vanuit de silo met korst bedroegen ongeveer 50 mg NH<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>.uur. Dit komt overeen met een uitgaande concentratie van 55 µg N/m<sup>3</sup> en een ingaande concentratie van 15 µg N/m<sup>3</sup>.

De relatieve fout in de bepaling van lage concentraties is 31 %. Hieruit volgt voor de relatieve fout in C :

$$\Delta C/C = (17,05 + 4,65) / (55 - 15) = 54 \%$$

Voor lage emissies is de mogelijke fout in de berekende emissie dan 54 + 25 = 79 %.

De hoge emissies bedroegen ongeveer 300 mg NH<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>.uur. Dit komt overeen met een uitgaande luchtconcentratie van 260 µg N/m<sup>3</sup>. De concentratie van de ingaande lucht wordt weer op 15 µg N/m<sup>3</sup> gesteld.

De relatieve fout in de bepaling van C<sub>uit</sub> is 25 %, in de bepaling van C<sub>in</sub> 31 %.

Hieruit volgt voor de relatieve fout in C :

$$\Delta C/C = (65 + 4,65) / (260 - 15) = 28 \%$$

Voor hoge emissies is de mogelijke fout in de berekende emissie dan 28 + 25 = 53 %.

### De statistische fout

In bijlage I is het 95 % betrouwbaarheidsinterval vermeld per etmaalgemiddelde. Voor hoge emissies blijkt de relatieve fout ongeveer 10% tot 30 % te zijn, voor lage emissies 40% tot 90 %.

De berekening naar een gemiddelde over de hele opslagperiode introduceert een extra onnauwkeurigheid in de Lindvalldoosmethode. Uit enkele waarnemingen verspreid over de hele opslagperiode wordt een gemiddelde bepaald. Een afzonderlijke waarneming kan o.a. zijn beïnvloed door buitentemperatuur, luchtvochtigheid of regenval op de dag voor de meting. De onnauwkeurigheid door beïnvloeding van buitenaf is niet in een getal uit te drukken. Dit maakt het noodzakelijk zoveel mogelijk waarnemingen te verkrijgen om een betrouwbaar gemiddelde te kunnen berekenen.

### Balansmethode

#### De mogelijke fout

De emissie wordt volgens de balansmethode als volgt berekend:

$$E = (N_{kj_{begin}} - N_{kj_{eind}}) / A * \text{aantal dagen opslag} * 24$$

De relatieve fout in de berekende emissie is:

absolute fout N<sub>kj<sub>begin</sub></sub> + absolute fout N<sub>kj<sub>eind</sub></sub> / N<sub>kj<sub>begin</sub></sub> - N<sub>kj<sub>eind</sub></sub>  
Immers de fout in de bepaling van A is te verwaarlozen t.o.v. de overige onnauwkeurigheden.



Het Nkj-gehalte in de mestmonsters kan slechts met een nauwkeurigheid van 10 % worden bepaald. Monsternamen veroorzaakt tevens een fout van 10 % in het Nkj-gehalte. De totale fout in het Nkj-gehalte is dus 20 %.

In het navolgende wordt de onnauwkeurigheid van de berekende emissie bepaald. Van zowel de winter- als de zomeropslagperiode is voor een hoge en een lage emissie de mogelijke fout bepaald.

#### Opslag winter 1987/1988

Het Nkj-gehalte bij aanvang van de opslagperiode was 5000 mg N/l, de opslagtijd was 245 dagen, gemiddelde vulhoogte was 185 cm en de oppervlakte van de silo 2.84 m<sup>2</sup>.

In het geval van een onafgedekte silo was de emissie berekend volgens de balansmethode ongeveer 300 mg NH<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>.uur, de emissie vanuit de silo met gehakseld stro bedroeg toen ongeveer 160 mg NH<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>.uur.

De mogelijke fout in de emissie is dan:

voor hoge emissie	$(5,24 + 4,24)/(26,22-21,22) = 190 \%$
voor lage emissie	$(5,24 + 4,71)/(26,22-23,55) = 370 \%$

#### Opslag zomer 1988

Het Nkj-gehalte bij aanvang van de opslagperiode was 5000 mg N/l, de opslagtijd bedroeg 76 dagen en de vulhoogte was 165 cm. De emissie was volgens de balansmethode ongeveer 600 mg NH<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>.uur vanuit de onafgedekte silo en ongeveer 130 mg NH<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>.uur vanuit de silo met strotoevoeging.

De mogelijke fout in de emissie is dan :

voor hoge emissie	$(4,69 + 4,16)/(23,39-20,80) = 342 \%$
voor lage emissie	$(4,69 + 4,16)/(23,39-22,82) = 1623 \%$

## Bijlage V

### Samenstelling Begeleidingscommissie

R. Roos	Ministerie voor Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu- beheer, voorzitter
ing. Th.A.M. Meijer	Regionale Inspectie Milieuhygiene Noord-Brabant (VROM)
ir. K.W. van der Hoek	Consulentschap in Algemene Dienst voor Bodem-, Water en Bemestings- zaken in de veehouderij
ir. L. Snel	Consulentschap in Algemene Dienst voor Bedrijfsuitrusting veehouderij
ing. J.V. Klarenbeek	Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen
ing. W. Kroodsma	Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen