

**EMISSIE VAN AMMONIAK EN GEUR UIT
MESTSILO'S EN DE VERMINDERING
VAN EMISSIE DOOR AFDEKKING**

ir. M.J.C. de Bode

deel 2 - rundermengmest



IMAG

Nota nr. 465

INHOUD

INHOUD

SAMENVATTING	3
1 INLEIDING	5
2 METHODE	6
2.1 Opzet	6
2.1.1 Zomeropslag 1988	6
2.1 Winteropslag 1988-198	8
2.2 Werkwijze	8
3 RESULTATEN EN DISCUSSIE	12
3.1 Geuremissie	12
3.1.1 Zomeropslag	12
3.1.2 Winteropslag	13
3.2 Ammoniakemissie	15
3.2.1 Zomeropslag	15
3.2.2 Winteropslag	17
3.3 Vertaling van de onderzoeksresultaten naar de praktijk	20
4 CONCLUSIES	22
LITERATUUR	24
BIJLAGE I Gemeten ammoniakconcentraties tijdens monsternamen met de Lindvalldoos	25
BIJLAGE II Mestanalyses van de monsters rundermengmest	30
BIJLAGE III De relatie tussen windsnelheid en emissiesnelheid	34
BIJLAGE IV Foutenanalyse	37
BIJLAGE V Samenstelling begeleidingscommissie	42

SAMENVATTING

Dit is het tweede tussenrapport van het minisilo-onderzoek. Het minisilo-onderzoek is een onderzoek naar de emissie van geur en ammoniak uit mestsilos. De totale duur van het onderzoek is drie jaar. Per jaar wordt één mestsoort onderzocht. De volgende mestsoorten zijn in het onderzoek opgenomen: varkensmengmest, rundmengmest en kippemengmest. Dit rapport gaat over rundmengmest.

De invloed van het afdekken van een silo op de emissie staat in het onderzoek centraal. Hiervoor zijn de volgende afdekkingen gebruikt: polystyreenplaten, drijvende folie, golfplaten overkapping, tentconstructie en kunststofpanelen. Tevens is de invloed van de hoogte van het mestniveau in de silo op de ammoniak- en geuremissie onderzocht. Het onderzoek is uitgevoerd met minisilos om met dezelfde mest en onder vergelijkbare omstandigheden de verschillende afdekkingen te kunnen onderzoeken. Om de resultaten van het minisilo-onderzoek naar de praktijk te kunnen vertalen, is ook aan een praktijksilo de geur- en ammoniakemissie gemeten. De vergelijking tussen praktijksilo en minisilo is bij niet afgedekte silos gemaakt.

De ammoniakemissie uit de minisilos is op twee manieren bepaald. De eerste methode is een bepaling van de ammoniakemissie gedurende een bepaalde dag. Hiertoe wordt een "Lindvalldoos" over de silo, met eventueel een afdekking, geplaatst. Deze doos blaast lucht over de silo, waarbij de ammoniakconcentratie van in- en uitgaande lucht wordt bepaald. De emissie wordt berekend uit het luchtdebiet door de doos en het verschil in ammoniakconcentratie van de in- en uitgaande lucht. Middeling van de afzonderlijke metingen levert de gemiddelde emissie over de opslagperiode op. Met de tweede methode wordt de gemiddelde emissie over de opslagperiode berekend door voor een silo een stikstofbalans op te stellen. De hoeveelheid stikstof in de silo aan het begin en aan het einde van de opslagperiode is uit analyseresultaten van mestmonsters berekend. Uit een foutenanalyse is gebleken dat de resultaten verkregen met de Lindvalldoosmethode het meest betrouwbaar zijn.

De gemeten geursterkte bij minisilos was laag. Afdekking van de silos verlaagde de geursterkte in de zomer met ongeveer 70% en in de winter met ongeveer 40%.

De gemeten ammoniakemissie bij de minisilos kwam overeen met een stikstofverlies van 5%-15% van de oorspronkelijk hoeveelheid stikstof. In dit onderzoek is aangetoond dat het ammoniakverlies rechtevenredig is met de oppervlakte van de silo. Het ammoniakverlies per m^3 mest is dus afhankelijk van de oppervlakte van de silo. In de praktijk zal per m^3 mest de oppervlakte van de silo vaak lager zijn dan bij de minisilos ($0,5 m^2$ mestoppervlakte per m^3 mest). Dit betekent dat het genoemde verliespercentage van 5%-15% in de praktijk vaak lager zal zijn.

Afdekking verminderde de ammoniakemissie sterk. De polystyreenplaten, drijvende folie, tentconstructie en kunststofpanelen verminderden de emissie in de zomer met ongeveer 85% en in de winter met 70% tot 80%. Het was niet mogelijk een onderscheid in emissieverminderend vermogen tussen deze afdekkingen te maken. Ook een verschil in reducerend vermogen tussen drijvende afdekkingen (polystyreenplaten en drijvende folie) en opbouwconstructies (tentconstructie en kunststofpanelen) was niet waarneembaar. De reductie ten gevolge van golfplaten was niet hoger dan 50%. Het verschil tussen de golfplatenafdekking en de overige afdekkingen is dat bij de golfplatenafdekking, zoals die in dit onderzoek gebruikt is, relatief veel luchtuitwisseling kan optreden door de open constructie met golfplaten. Luchtuitwisseling is een van de voorwaarden waardoor emissie kan optreden.

Gedeeltelijk vullen van de silo verminderde de ammoniakemissie met ongeveer 30%. Als de silo slechts voor een deel gevuld is zal de luchtsnelheid over de mest lager zijn dan bij een geheel gevulde mestsilo. Doordat de luchtsnelheid over het mestoppervlak lager is zal de emissiesnelheid ook lager zijn. Gelijktijdig met dit onderzoek is in de zomer met dezelfde mest de emissiereducerende werking van een geïnduceerde korst onderzocht (de Bode, 1989). Een geïnduceerde korst verminderde de ammoniakemissie met 75%.

De emissiesnelheid uit een praktijksilo is in de zomer tweemaal gemeten. De uitkomsten van beide metingen verschilden dusdanig ($2760 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ en $580 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$) dat het niet mogelijk was een gemiddelde emissiesnelheid voor de praktijksilo in de zomer op te geven. De emissiesnelheid uit de niet afgedekte minisilo bedroeg in de zomer $244 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$. In de winter is bij de praktijksilo viermaal de emissiesnelheid gemeten. Uit de afzonderlijke resultaten (341, 455, 410 en $170 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$) is een gemiddelde emissiesnelheid in de winter berekend van $345 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$. De emissiesnelheid uit de niet afgedekte minisilo bedroeg in de winter $184 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$.

1 INLEIDING

De laatste jaren worden ook in Nederland in toenemende mate de gevolgen zichtbaar van de verzuring, met name de bossen in de toch al gevoelige gebieden hebben veel te lijden. De ammoniak die vrijkomt bij het bedrijven van veehouderij is een van de bronnen van de zure regen. De depositie van ammoniak en ammonium is voor ruim 70 % afkomstig uit Nederland zelf (Asman, 1987). Terugdringen van de ammoniakemissie in Nederland heeft dus direct gevolgen voor de depositie. In verband met de mestproblematiek is één van de maatregelen die recentelijk van kracht is, dat alleen gedurende bepaalde perioden mag worden uigereden. Het gevolg hiervan is dat er meer opslagcapaciteit voor mest nodig zal zijn. Een deel daarvan zal worden gerealiseerd in de vorm van bovengrondse opslag buiten de stal.

Om een toename van geurhinder en/of ecologische schade door ammoniakemissie ten gevolge 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 teruggedrongen kon worden door afdekking van de mestopslagen. Om deze leemte in kennis op te kunnen vullen heeft het IMAG in september 1985 een onderzoekvoorstel ingediend om de emissie van geur en ammoniak uit silo's te meten en 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 een jaar; tweede fase onderzoek met rundermest, duur een jaar; derde fase onderzoek met dunne kippemest, duur een jaar. Na afronding van elke fase volgt een tussenrapport. Dit rapport is het tussenrapport over de tweede fase van het onderzoek naar emissie bij rundermest. Na afloop van de drie fasen volgt het uiteindelijke eindrapport.

Het eerste jaar van het onderzoek is gefinancierd door het ministerie van Landbouw en Visserij en het ministerie van VROM. Vertegenwoordigers van de beide ministeries hebben zitting in de begeleidingscommissie. In verband met het onderbrengen van de financiering van het ammoniakonderzoek bij het Financierings Overleg Mest- en Ammoniakonderzoek (FOMA) worden de resterende jaren van dit onderzoek gefinancierd door het FOMA. De samenstelling van de begeleidingscommissie is in bijlage V vermeld.

2 METHODE

2.1 Opzet

Het onderzoek is m.b.v. negen minisilo's uitgevoerd. Deze silo's staan naast elkaar op het terrein van het IMAG te Wageningen. De silo's zijn twee meter hoog en hebben een diameter van 190 cm. Voor mestmonsternamen zijn op 40 cm, 90 cm en 165 cm hoogte monsternametekranen aangebracht. De silo's werden bij aanvang van de proef tot 170 cm gevuld.

2.1.1 Zomeropslag 1988

Tijdens de zomer 1988 is het effect van afdekking op de geur- en ammoniakemissie aan vier afgedekte silo's gemeten. Twee silo's zonder afdekking werden als referentie in het onderzoek opgenomen. Er is gekozen voor de volgende afdekkingsmethoden (foto 1 t/m 4) :

- polystyreenplaten Dit is een drijvende afdekking met een dikte van 8 cm die als voordeel heeft dat het materiaal goedkoop is. Een nadeel is dat de mest met regenwater zal worden verdund. Buitenlucht kan alleen in aanraking komen met de mest tussen de aansluitingen van de platen en langs de wand van de silo.
- drijvende folie Dit is een drijvende afdekking, duurder dan polystyreenplaten, maar heeft als voordeel dat het regenwater zich, bij goede behandeling, niet met de mest vermengt. Alleen langs de silowand komt de mest in contact met de buitenlucht.
- golfplaten Dit is een opbouwconstructie die inregening effectief zal voorkomen. Luchtuitwisseling tussen lucht onder de afdekking en buitenlucht is door de open constructie van deze afdekking vrijelijk mogelijk.
- tent Dit is een opbouwconstructie die inregening effectief voorkomt. Deze constructie zorgt voor een minimum aan uitwisseling tussen buitenlucht en lucht onder de afdekking.

Naast de twee minisilo's zonder afdekking is in het onderzoek ook een praktijksilo zonder afdekking opgenomen. Door middel van vergelijking van de emissiegegevens van de twee niet afgedekte minisilo's met de niet afgedekte praktijksilo is getracht de resultaten van het minisilo-onderzoek naar de praktijk te vertalen.

De mest was afkomstig uit de mestkelders van het IMAG-proefbedrijf " De Vijf Roeden " te Duiven. Dit bedrijf beschikt over ligboxenstallen, die onderkelderd zijn. Aan het begin van de opslagperiode werd mest uit de kelders naar de praktijksilo op het bedrijf gepompt. Gelijktijdig is een deel van de mest naar Wageningen vervoerd en daarmee zijn de minisilo's gevuld.

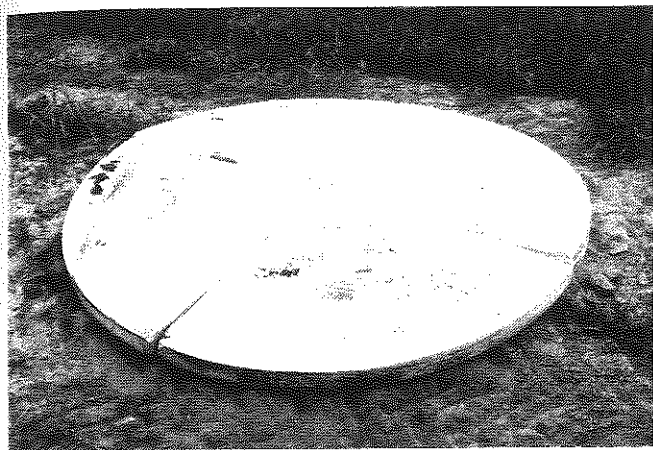


Foto 1: polystyreenplaten

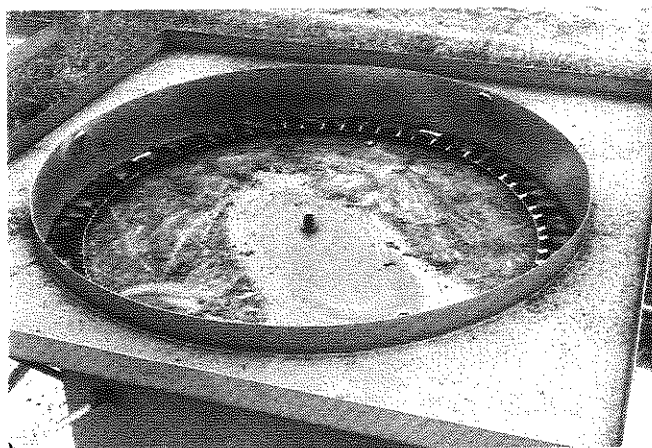


Foto 2: drijvende folie

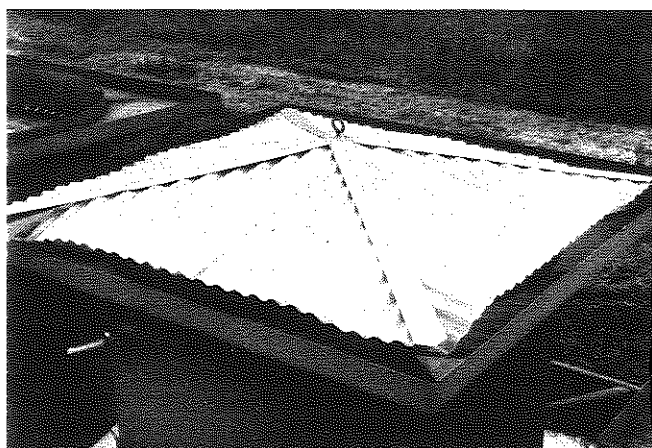


Foto 3: golfplaten



Foto 4: tent

2.1.2. Winteropslag 1988-1989

De opzet van het onderzoek in de winter was gelijk aan de opzet tijdens de zomer. Om op de nieuwe ontwikkelingen op het gebied van afdekkingen in te spelen is in deze periode een afdekking van kunststofpanelen (foto 5) toegevoegd. Een afdekking van kunststofpanelen is een constructie, die met de tentconstructie overeenkomt, wat het voorkomen van inregenen en uitwisseling tussen buitenlucht en lucht onder de afdekking betreft. Een voordeel van deze afdekking is de geringe hellingshoek, waardoor de afdekking minder in de omgeving zal opvallen. Als referentie zijn in de winter drie silo's niet afgedekt.

Eén silo is voor een derde gevuld. Het doel hiervan was de invloed van de verhouding tussen het oppervlakte en de inhoud van een silo op de ammoniakemissie te onderzoeken. Wanneer de emissie uit deze silo gelijk is aan de emissie uit de referentiesilo's dan is de emissie alleen afhankelijk van de oppervlakte van de silo en zou het misschien de moeite zijn hoge smalle silo's te bouwen.

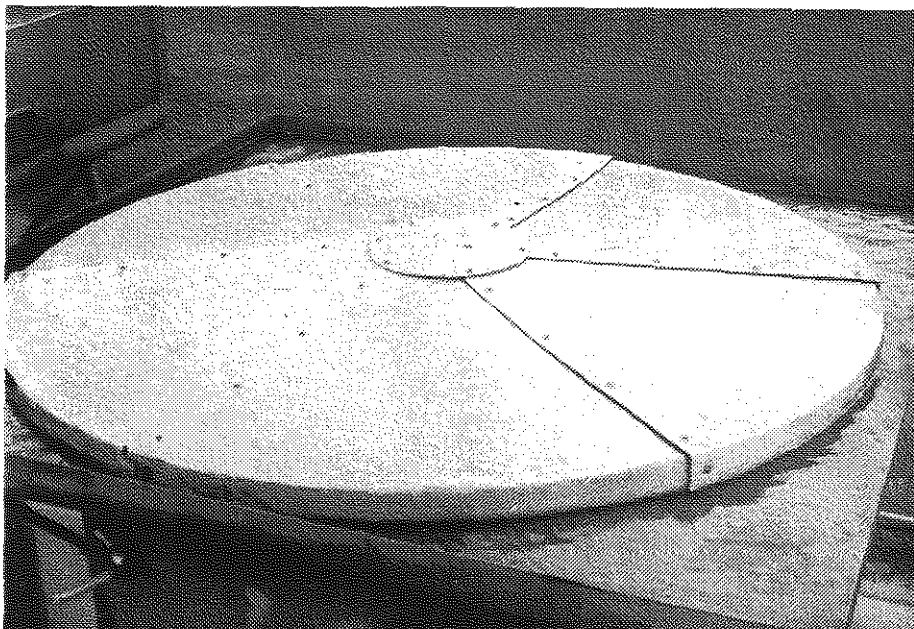


Foto 5: kunststofpanelen

2.2 Werkwijze

De volgende waarnemingen zijn tijdens de proef gedaan:

- Bepaling van de geuremissie

Eenmaal per maand is de geuremissie bepaald door een monster-namedoos op een silo te plaatsen. Hiertoe is 10 cm onder de bovenkant van de silo's een vierkante uitbouw gemaakt, die gevuld kan worden met water. Dit water dient als waterslot, zodat de doos luchtdicht over het te meten oppervlak kan worden geplaatst. Om het vervluchtigingsproces uit de silo niet te veel te beïnvloeden, wordt lucht door de doos geblazen. De lichtsnelheid in de doos is ingesteld op 1 m/s, dat komt overeen met een debiet van 48 m³/min. Een lichtsnelheid van 1 m/s is standaard voor dit soort metingen. De monsternamedoos is gemaakt volgens het principe van Lindvall (Lindvall, 1974), in het verslag wordt de doos daarom Lindvalldoos genoemd. Het te meten oppervlak kan mestoppervlak zijn in het geval van een open silo of een afdekking in het geval de silo is afgedekt. Van de uitgaande lucht werden enkele monsters verzameld in teflon FEP-zakken. In het geuronderzoek zijn dit de zakken, waarin de lucht wordt verzameld. Tevens werd ter vergelijking een geurmonster van de buitenlucht genomen om de achtergrondgeur te meten. Van de vijf minisilo's werd per meetronde binnen een halve dag een monster genomen, waardoor een goede onderlinge vergelijking mogelijk was.

De geurconcentratie van de lucht, waarvan een monster was genomen, werd bepaald door een panel, bestaande uit minimaal acht leden. De concentratie van de geur wordt uitgedrukt in geureenheden. Een geureenheid is die geurconcentratie die door 50 % van het panel onderscheiden kan worden van geurloze lucht. Het aantal geureenheden van een luchtmonster wordt bepaald door het aantal verdunningen dat nodig is om een geurconcentratie van een geureenheid te bereiken. Als een luchtmonster bijvoorbeeld tien maal verdund moet worden om de geurconcentratie van een geureenheid te bereiken heeft dat luchtmonster een geurconcentratie van tien geureenheden.

- Bepaling van de ammoniakemissie

De bepaling van de ammoniakemissie vond op twee manieren plaats:

a. Meting van de emissie met de Lindvalldoos

Monstername vond op dezelfde manier plaats als bij de geurmonstername door op de silo's een monsternamedoos te plaatsen. De monsternameduur per silo was 24 uur. Elke monstername van 24 uur was opgedeeld in 8 perioden van 3 uur. Uit deze 8 perioden is een gemiddelde emissie over een etmaal berekend. De gemiddelde emissie over de hele opslagperiode is vastgesteld door een gemiddelde te berekenen uit de etmaalemissies.

De emissie wordt berekend uit het verschil in de ammoniakconcentratie van de inkomende en uitgaande lucht. De ammoniakconcentratie van de inkomende en uitgaande lucht is bepaald door lucht gedurende 3 uur met een snelheid van 3 tot 4 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 :

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

waarin: E = ammoniakemissie ($mg \text{ NH}_3 / m^2 \cdot \text{uur}$)
 C_{NH_3} = ammoniakconcentratie in absorptievloeistof ($mg \text{ NH}_3 / l$)
 V_{av} = volume absorptievloeistof (ml)
 AV_{av} = luchtvolume dat door absorptievloeistof is gezogen (m^3)
 VS = volume lucht dat over de silo is geblazen (m^3 / s)
 A = oppervlakte silo (m^2)

b. Bepaling van de gemiddelde emissie m.b.v. mestmonsters

Betrouwbare mestmonstername was alleen mogelijk aan het begin en einde van de opslagperiode. Bij het inpompen van de mest is van iedere silo een monster in triplo genomen. Aan het einde van de opslagperiode werd de mest voor het uitrijden goed gemengd door de mest enkele malen in een tankwagen te zuigen en weer terug te pompen. De emissie werd berekend volgens :

$$E = (Nkj_0 \cdot MV_0 - Nkj_1 \cdot MV_1) / A \cdot \text{aantal dagen opslag} \cdot 24 \quad (2)$$

waarin: E = ammoniakemissie ($mg \text{ NH}_3 / m^2 \cdot \text{uur}$)
 Nkj_0, Nkj_1 = de concentratie Nkj in de silo resp. aan het begin en einde van de opslagperiode
 MV_0, MV_1 = resp. het mestvolume aan het begin en einde van de opslagperiode.
 A = oppervlakte silo (m^2)

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, waarna m.b.v. balansberekening op grond van Nkj -verschillen de emissie per maand of een veelvoud van maanden is berekend.

De ammonium-concentratie in de mest is bepaald om enig inzicht te krijgen in 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 regelmatig het mestniveau in de silo gemeten. Voor een goede karakterisering van de mest zijn bovendien de pH en de vluchtige vetzuren gemeten.

Er zijn twee manieren om de emissiereductie van ammoniak te berekenen:

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

$$1 - E_1/E_0 \quad (3)$$

waarin:

E_1 = emissie van de objectsilo

E_0 = emissie van de referentiesilo

Deze methode kan worden toegepast bij zowel de Lindvalldoos-methode als de balansmethode. Bij de Lindvalldoosmethode is berekening van een 95 % betrouwbaarheidsinterval mogelijk door uit de 97.5 % betrouwbaarheidsonder- en bovengrens (btog en btbg) van de etmaalgemiddelde emissie een btog en btbg voor de gemiddelde emissie van de gehele opslagperiode te berekenen. Uit de betrouwbaarheidsintervallen van het 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 (3). Het gemiddelde van de reductiepercentages per meetronde is het gemiddelde reductiepercentage over de hele opslagperiode. Deze methode is alleen toepasbaar bij de Lindvalldoos.

Voor een betrouwbaar beeld van de reductie door afdekking geeft de integrale methode de beste weergave. Bij deze methode wordt rekening gehouden met het verschillende niveau van de emissie gedurende de opslag.

Tevens werd de emissie van geur en ammoniak van de praktijksilo bepaald. De meetmethode was in principe identiek aan de gebruikte methode bij de minisilo's. Door de omvang van een praktijksilo was het niet mogelijk een Lindvalldoos over de hele silo te plaatsen. In plaats hiervan is gebruik gemaakt van een drijvende Lindvalldoos. Deze doos lag op drijvers in de mestloos en was d.m.v. een reukvrije slang verbonden met een ventilator. De ventilator zorgde voor een constant luchtdebiet van 24 m³/min door de doos. De lichtsnelheid in de drijvende doos was gelijk aan de lichtsnelheid in de Lindvalldoos boven een niet afgedekte minisilo en bedroeg 1 m/s. Monsternamen aan de praktijksilo en de minisilo's gebeurde gelijktijdig.

De geurmonsternamen aan de praktijksilo was identiek aan de monsternamen bij de minisilo's. Monsternamen-apparatuur om de 24-uurs ammoniakmonsternamen in 8 perioden te verdelen was vanwege de gelijktijdige monsternamen met de minisilo's niet aanwezig. Monsternamen vond nu plaats door één monster van 24 uur te nemen.

3 RESULTATEN EN DISCUSSIE

Het experiment is van start gegaan op 31 mei 1988, rond dezelfde tijd is ook de open mestsilo bij het proefbedrijf gevuld. De mest is tot 25 augustus 1988 opgeslagen geweest. De mest werd toen gebruikt voor onderzoek naar de emissie van ammoniak na aanwending van mest op het land. De opslagperiode van de mest bedroeg 86 dagen.

Gedurende de zomeropslag was de gemiddelde temperatuur $15,9^{\circ}\text{C}$ met een gemiddelde maximumtemperatuur van $20,2^{\circ}\text{C}$. De neerslag in deze opslagperiode bedroeg 210 mm. De zomer was dus nat en koel, vooral in juli toen de temperatuur tijdens 20 dagen de 20°C niet bereikte en er 123 mm regen viel.

De mest voor de winteropslag is op 10 november 1988 in de silo's gepompt. Omstreeks deze dag is ook de praktijksilo op de proefboerderij gevuld. De silo's werden op 16 mei 1989 geleegd, zodat de winteropslag 187 dagen bedroeg. De kunststofpanelen werden eind december 1988 geleverd. De silo, die met deze panelen zou worden afgedekt, is daarom pas op 5 januari gevuld.

De winter van '88/89 was zacht, zonder een vorstperiode en met weinig neerslag. De gemiddelde etmaaltemperatuur van november tot en met maart was $6,0^{\circ}\text{C}$ met een gemiddelde minimumtemperatuur van $2,7^{\circ}\text{C}$. De neerslag in deze periode bedroeg 300 mm, waarvan 100 mm in maart. April was koud, de gemiddelde temperatuur was lager dan in maart. Begin mei was daarentegen juist extreem warm.

In beide opslagperioden is geen korstvorming op de rundermengmest opgetreden.

3.1 Geuremissie

3.1.1 zomeropslag

Er zijn tijdens de zomer drie geurmetingen gedaan: op 1 juni, op 21 juni en op 26 juli. Op 1 juni was het half bewolkt met een krachtige wind, de temperatuur tijdens de meting was ongeveer 17°C . De temperatuur op 21 juni was ongeveer 19°C , de wind was matig en het was half bewolkt. Op 26 juli was het een sombere dag met veel regen, de temperatuur tijdens de meting was 18°C .

De geurconcentratie, die gemeten is aan een afgedekte silo, is in bijna alle gevallen lager dan de geurconcentratie gemeten aan de niet afgedekte silo. De spreiding in de resultaten is echter dusdanig dat het moeilijk is op grond van deze resultaten betrouwbare uitspraken te doen over het verschil tussen de afzonderlijke afdekkingen. Daar de gemiddelde reductie bij de tentafdekking het hoogst is en omdat de metingen aan deze silo bovendien de kleinste spreiding vertonen, lijkt deze afdekking tijdens deze waarnemingsperiode het best te voldoen.

Tabel 1: geurwaarnemingen aan een mestsilos gevuld met rundermengmest tijdens de zomer; gebaseerd op drie waarnemingen

	Geurconcentratie (in geureenheden)		Geurreductie (in procenten)	
	gemiddeld	range	gemiddeld	range
achtergrond	40	38 - 43		
niet afgedekt	111	87 - 136		
polystyreen	68	17 - 100	39	-13 - 85
drijvende folie	64	28 - 97	43	24 - 75
golfplaten	80	41 - 153	28	-27 - 70
tent	31	17 - 50	72	43 - 87

3.1.2 winteropslag

Gedurende de winteropslag zijn vijf geurmetingen gedaan. De weersomstandigheden tijdens de metingen waren als volgt: op 14 november was het droog na drie dagen met regen, de gemiddelde etmaaltemperatuur was 8,5°C en de wind was matig. Op 16 december was het nevelig met lichte motregen en de gemiddelde etmaaltemperatuur was 4,7°C, tijdens de meting viel er vijf mm regen, 7 februari was een zonnige en warme dag met een maximumtemperatuur van ruim 12°C. Tijdens de daaropvolgende meting op 16 maart was het regenachtig en koud, ook de voorgaande dagen had het geregend. De laatste geurmeting is op 27 april uitgevoerd, dit was een heldere, zonnige dag met een groot verschil tussen maximum en minimumtemperatuur. De maximumtemperatuur was ongeveer 11°C en de minimumtemperatuur -2°C. In onderstaande tabel staan de resultaten:

Tabel 2: geurwaarnemingen aan een mestsilos gevuld met rundermengmest tijdens de winter; de tabel is samengesteld uit vijf waarnemingen, voor de afdekking met kunststofpanelen uit drie waarnemingen.

	Geursterkte (in geureenheden)		Geurreductie (in procenten)	
	gemiddeld	range	gemiddeld	range
achtergrond	24	6 - 36		
niet afgedekt	63	23 - 135		
polystyreen	53	18 - 92	16	-28 - 58
drijvende folie	38	29 - 46	41	-21 - 71
golfplaten	54	23 - 107	15	-56 - 56
tent	37	19 - 49	42	17 - 67
kunststofpanelen	50	24 - 81	22	9 - 43
1/3 gevuld	79	30 - 139	-23	-63 - 29

De gemiddelde geurconcentratie is in de winter lager dan in de zomer. Bovendien is in de winter de spreiding in de resultaten groter dan in de zomer. Hierdoor is het moeilijk een betrouwbare uitspraak te doen over de resultaten van de geurmetingen in de winter. Het enige wat op grond van de resultaten met zekerheid kan worden gezegd is dat afdekking met tent of met kunststofpanelen de geuremissie verminderen.

De afdekkingen hebben zelf een geur en bij geurmetingen kan geen onderscheid worden gemaakt in de aard van de geur. Aangezien de geurconcentratie van opgeslagen mest erg laag is (tijdens het uitrijden worden geurconcentraties van tienduizenden geureenheden gemeten), zal de meting naar de geur van opgeslagen mest snel worden beïnvloed door andere geuren zoals de geur van de afdekking. De silo met een tentafdekking had zowel in de zomer als in de winter de laagste geurconcentratie. Dit wil niet zeggen dat een tentconstructie de geur van opgeslagen mest het best reduceerde. De combinatie van "opgeslagen mest"-geur en geur van de afdekking werd door het panel bij deze silo als het laagst ervaren.

3.2 Ammoniakemissie

3.2.1 zomeropslag

De resultaten van de metingen van de ammoniakemissie vertonen een ander beeld dan de resultaten van de metingen van de geuremissie. In tabel 3 zijn de gemiddelde resultaten van de metingen weergegeven; de gegevens zijn per methode apart vermeld. De volledige meetgegevens staan in bijlagen I en II.

Tabel 3: De gemiddelde ammoniakemissie uit mestsilos gevuld met rundermengmest in de periode juni-augustus 1988.

Lindvalldoosmethode

Afdekking	Gemiddelde emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	Reductie		
		integraal	horizontaal	
		gemiddelde	gemiddelde	range
niet afgedekt	244			
polystyreen	46	81%(64-91%)*	86%(71-93%)*	72-93%
drijvende folie	33	86%(71-97%)	86%(73-95%)	74-94%
golfplaten	167	32%(5-53%)	50%(28-64%)	31-61%
tent	38	84%(72-93%)	84%(71-93%)	79-92%

* de gemiddelde reductiepercentages zijn opgegeven met hun 95% betrouwbaarheidsinterval

Balansmethode

Afdekking	Gemiddelde emissie (mg NH ₃ /m ² .h)	Reductie
niet afgedekt	580	
polystyreen	89	85%
drijvende folie	362	38%
golfplaten	373	36%
tent	91	84%

Voor de niet afgedekte silo komt de emissie tijdens deze opslagperiode berekend met de balansmethode neer op een verlies van ongeveer 10 % t.o.v. het oorspronkelijk totaalstikstofgehalte (Nkj). Het berekende verlies met de Lindvalldoosmethode was ongeveer 5 %. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de luchtsnelheid over het te meten oppervlak bij de balansmethode hoger is dan bij de Lindvalldoosmethode en dat de emissiesnelheid rechtevenredig of bijna rechtevenredig is met de luchtsnelheid. De twee berekende verliespercentages zijn dus niet vergelijkbaar.

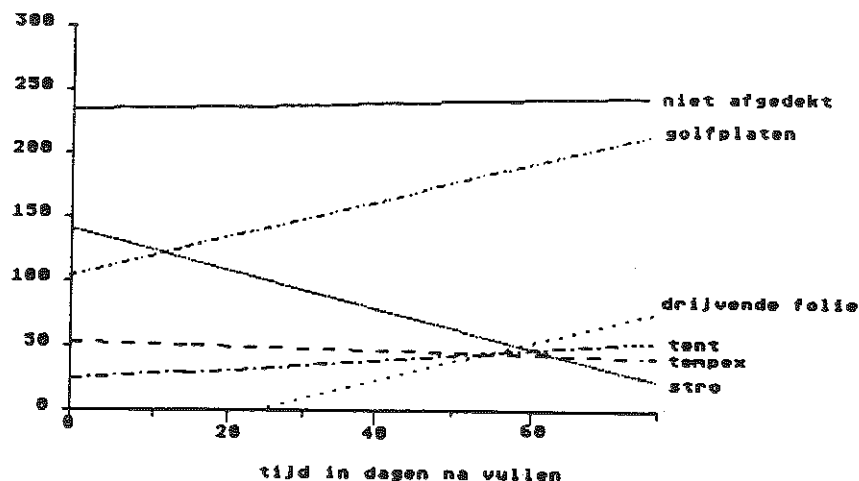
Vermindering van ammoniakemissie ten gevolge van de afdekkingen was goed meetbaar. De emissie uit de afgedekte silo's was in alle gevallen veel lager dan uit de niet afgedekte silo. De tentconstructie en de polystyreenplaten verminderden de emissie beide met ongeveer 85%. Er was dus in emissieverminderend vermogen geen onderscheid te maken tussen een opbouwconstructie en een drijvende afdekking. Een afdekking, die gedeeltelijk open is, zoals de golfplaten kap in dit experiment, verminderde de emissie slechts met 30% tot 50%. Het reductiepercentage van de drijvende folie lag, bepaald met de Lindvalldoosmethode, in dezelfde orde van grootte als van de tentconstructie en de polystyreenplaten. De werking van drijvende folie was volgens de balansmethode echter veel slechter. Omdat uit de foutenanalyse (bijlage IV) blijkt dat de Lindvalldoosmethode nauwkeuriger is dan de balansmethode, moet meer waarde worden gehecht aan de metingen met de Lindvalldoos.

Gelijktijdig met dit onderzoek vond met dezelfde mest onderzoek plaats naar emissiereductie door een korst, die werd gevormd door gehakseld stro aan mest toe te voegen. Een geïnduceerde korst verlaagde de emissie met ongeveer 75% (de Bode, 1989). Dit was ruim 10% lager dan de emissiereductie met polystyreenplaten, drijvende folie en een tentconstructie in dezelfde opslagperiode werd bereikt, maar 25% hoger dan de emissiereductie door golfplaten.

In figuur 1 is het emissieverloop afgebeeld zoals dat in de meetperiode met de Lindvalldoosmethode is gemeten. Bij de niet afgedekte silo en de silo's afgedekt met tent en polystyreen verloopt de ammoniakemissie niet in de tijd. Daarentegen neemt de emissie toe bij de silo's afgedekt met drijvende folie en golfplaten en neemt sterk af bij de silo met strotoevoeging. Daar uit figuur 1 voor de niet afgedekte silo's geen verloop in de tijd blijkt, is uit de etmaalgemiddelde concentraties volgens de Lindvalldoosmethode een rekenkundig gemiddelde over de gehele opslagperiode berekend.

De ammoniakemissie uit de praktijksilo is in de zomer tweemaal gemeten. De uitkomsten van beide metingen verschilden dusdanig ($2760 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ en $580 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$) dat het niet mogelijk was een gemiddelde emissie voor de praktijksilo op te geven. De resultaten lijken aan te geven dat de ammoniakemissie uit een praktijksilo gelijk is aan of hoger is dan uit een minisilo.

emissie
in mg $\text{NH}_3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$



Figuur 1: Het verloop in de tijd van de ammoniakemissie van minisilo's gevuld met rundermest gedurende de zomer gemeten volgens de Lindvalldoosmethode. De lijnen zijn met lineaire regressie berekend uit drie tot zes metingen.

3.2.2 winteropslag

De berekende emissie met de balansmethode was erg onbetrouwbaar. Het bleek daarom niet mogelijk op deze manier de emissie uit afgedekte silo's te berekenen. De emissie uit de niet afgedekte silo bedroeg, berekend met de balansmethode, 280 100 mg $\text{NH}_3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$. Dit is gelijk aan of hoger dan de emissie berekend met de Lindvalldoosmethode. In onderstaande tabel is de gemiddelde ammoniakemissie berekend met de Lindvalldoosmethode over de hele opslagperiode van de verschillende afdekkingen weergegeven. De volledige meetgegevens staan in bijlage I.

De met de balansmethode gemeten ammoniakemissie bij de niet afgedekte silo's komt neer op een stikstofverlies ten opzichte van de oorspronkelijke hoeveelheid stikstof van 8% tot 15% gemeten.

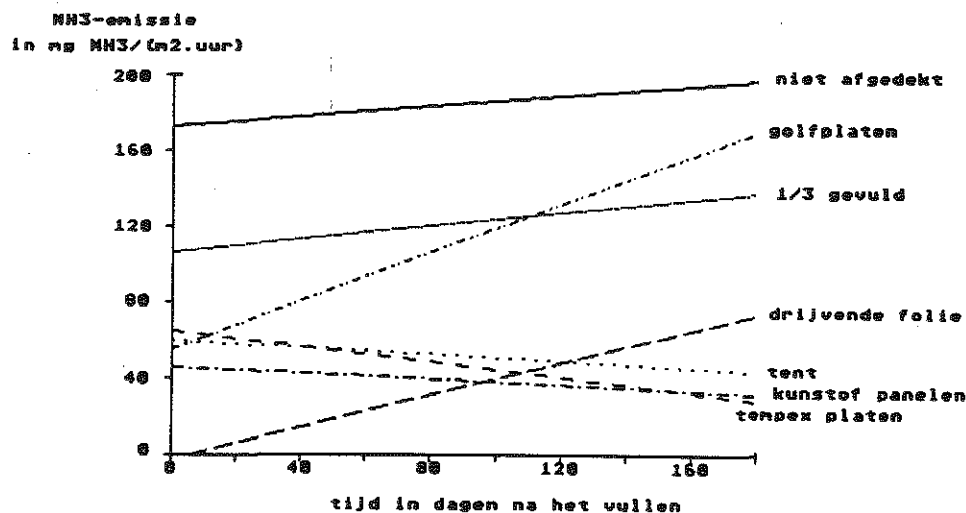
In figuur 2 is het verloop in de tijd van de ammoniakemissie weergegeven, gemeten met de Lindvalldoosmethode. De ammoniakemissie bij de niet afgedekte silo's nam licht toe, terwijl de emissie bij de silo's afgedekt met tent, kunststofpanelen en polystyreen licht afnam. Evenals tijdens de zomer nam de emissie bij de silo's met drijvende folie en een golfplaten kap sterk toe. Daar de emissie bij de meeste silo's nauwelijks verliep, is de gemiddelde emissie over de opslagperiode berekend uit het rekenkundig gemiddelde van de afzonderlijke metingen.

Tabel 4 : De gemiddelde ammoniakemissie uit meststilo's gevuld met rundermengmest in de periode november 1988 - mei 1989 gemeten volgens de Lindvalldoosmethode

Afdekking	Gemiddelde emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	Reductie		
		integraal	horizontaal	
		gemiddelde	gemiddelde	range
niet afgedekt	184 (26)**			
polystyreen	45 (10)	78% (51-90%)*	74% (46-89%)*	43-94%
drijvende folie	33 (4)	82% (57-97%)	80% (50-97%)	53-96%
golfplaten	99 (8)	46% (-2-74%)	49% (1-76%)	14-79%
tent	53 (3)	71% (43-88%)	69% (41-86%)	58-75%
kunststofpanelen	39 (6)	79% (57-91%)	77% (54-91%)	62-89%
1/3 gevuld	121 (8)	34% (-18-65%)	29% (-33-61%)	-20-55%

* de gemiddelde reductiepercentages zijn opgegeven met hun 95% betrouwbaarheidsinterval

** tussen haakjes is het aantal waarnemingen vermeld.



Figuur 2 : Het verloop in de tijd van de ammoniakemissie uit minisilo's gevuld met rundermengmest gedurende de winter gemeten met de Lindvalldoosmethode. De lijnen zijn berekend met lineaire regressie op basis van drie tot zesentwintig waarnemingen.

De ammoniakemissie bij een silo afgedekt met een "open" afdekking als een golfplaten kap zal waarschijnlijk in de tijd toenemen. Onder de kap bouwt zich langzamerhand een ammoniakconcentratie op. Luchtuitwisseling tussen lucht onder de kap en buitenlucht is in beperkte mate mogelijk. Hierdoor vervluchtigt ammoniak naar de buitenlucht. Ondanks deze luchtuitwisseling gaat de ophoping van ammoniak onder de kap door. Dus zal in de loop van de tijd de emissie uit een silo met golfplaten kap toenemen. De toename van de ammoniakemissie bij de silo afgedekt met drijvende folie is waarschijnlijk te wijten aan een toenemende vervuiling van het folie gedurende de opslag.

De ammoniakemissie in de winter uit afgedekte silo's is ongeveer gelijk aan de emissie gedurende de zomer. De lagere temperatuur van de opgeslagen mest in de winter verklaart dat de emissie uit de niet afgedekte silo in de winter lager is dan in de zomer. Het effect van afdekking zal in de winter dus lager zijn dan in de zomer.

Uit de metingen in de winter blijkt dat het niet mogelijk is een onderscheid te maken tussen het emissieverminderend vermogen van de verschillende afdekkingen. Zowel drijvende afdekkingen als opbouwconstructies verminderden de emissie met 70% tot 80%. De luchtuitwisseling bij de twee typen afdekkingen zal weinig van elkaar verschillen en daarmee zal dus ook de emissie ongeveer gelijk zijn. Slechts de golfplaten kap viel in negatieve zin op. Deze afdekking verminderde de emissie slechts met 46% tot 49%. Dit wordt veroorzaakt doordat deze constructie grote openingen heeft, waardoor nog veel luchtuitwisseling plaatsvindt.

Gedeeltelijk vullen van een silo verlaagt de emissie. De oorzaak hiervan moet waarschijnlijk worden gezocht in het feit dat de luchtsnelheid over het mestoppervlak lager is dan in een geheel gevulde silo. Hierdoor zal ook de emissiesnelheid boven het mestoppervlak lager zijn (bijlage III). Uitputting van de beschikbare hoeveelheid ammonium, speelt hier geen rol. In dat geval zou de emissie gedurende de opslag geleidelijk lager zijn geworden. De emissie blijft echter op hetzelfde niveau (bijlage I). De emissie lijkt voornamelijk afhankelijk te zijn van het mestoppervlak. Hieruit volgt dat het mogelijk is stikstofverlies uit een niet afgedekte silo te verminderen door de oppervlakte-inhoudverhouding van een silo te verkleinen.

Van de silo, die met een tentconstructie is afgedekt, zijn slechts drie betrouwbare waarnemingen beschikbaar. In de loop van de winter heeft zich in het water in de bak rond de bovenkant van de silo ammonium opgehoopt. Dit ammonium was afkomstig uit de lucht onder de tentafdekking. De tent is namelijk niet tegen de silowand vastgemaakt, maar ligt in de bak. Hierdoor is een klein contactoppervlak ontstaan tussen het waterslot en de lucht onder de tent. Ammoniak is goed oplosbaar in water, dus neemt het waterslot ammonium op. Daarbij had het water in de bak een pH van 8,5 - 9,0. Met de Lindvalldoos is dus niet alleen de emissie uit de silo gemeten, maar ook uit de waterbak. Hetzelfde fenomeen,

zij het in mindere mate, is ook bij de golfplaten overkapping geconstateerd. In het verdere verloop van het onderzoek zal de ophoping van ammonium in de waterbak rond de silo in de gaten worden gehouden. Zo nodig zal het water in de bak worden ververst.

Tijdens de winteropslag is de emissie van de praktijksilo viermaal gemeten. De afzonderlijke resultaten van de vier emissiemetingen schommelden rond het gemiddelde (341, 455, 410 en 170 mg $\text{NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$). De emissie nam dus niet toe of af met de tijd. De gemiddelde emissie bedroeg 345 mg $\text{NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$. Dit is bijna tweemaal hoger dan de emissie uit de niet afgedekte minisilo.

3.3 Vertaling van de onderzoeksresultaten naar de praktijk

De gemiddelde ammoniakemissie uit de praktijksilo was in de winter ongeveer tweemaal hoger dan de emissie uit de niet afgedekte minisilo op het IMAG terrein. Tijdens de zomer is de emissie van de praktijksilo slechts tweemaal gemeten. De emissie uit de praktijksilo leek in de zomer gelijk of hoger te zijn dan uit de niet afgedekte minisilo. De resultaten van de twee metingen lagen echter zo ver uit elkaar dat het niet mogelijk is op grond van de resultaten een betrouwbare vergelijking te maken tussen de praktijksilo en de niet afgedekte minisilo.

Het verschil in emissie uit de praktijksilo en uit de niet afgedekte minisilo tijdens de winter kan twee oorzaken hebben. In de eerste plaats volgt een minisilo de schommelingen in de buitentemperatuur waarschijnlijk slechts met geringe vertraging, terwijl een praktijksilo een veel grotere buffer tegen temperatuurveranderingen van buitenaf heeft. Aangezien de temperatuur van de mest een belangrijke factor is bij de emissie (Frenay & Simpson, 1981; Muck & Steenhuis, 1982), zal gedurende de winter de emissie uit een praktijksilo waarschijnlijk hoger zijn dan uit een minisilo. In de zomer zal de mest in de minisilo's warmer zijn, dus zou de ammoniakemissie uit de minisilo's ook hoger moeten zijn dan uit de praktijksilo. In de zomer lijkt de emissie uit de niet afgedekte minisilo echter gelijk of zelfs minder te zijn dan uit de praktijksilo. Er is dus waarschijnlijk nog een andere oorzaak voor de hogere emissie uit de praktijksilo. Een tweede oorzaak voor de hogere emissie zou de wind kunnen zijn. In een grote silo krijgt de wind waarschijnlijk meer vat op de mest en daardoor zal de mest in beweging worden gebracht en zich enigszins mengen.

Over de vertaling van de resultaten van open silo's naar afgedekte silo's bestaan twee hypothesen :

- De invloed van de temperatuur op afgedekte minisilo's en praktijksilo's zal hetzelfde zijn als op niet afgedekte minisilo's en praktijksilo's. Omdat de silo's afgedekt zijn heeft de wind evenveel vat op het mestoppervlak van een praktijksilo als op het mestoppervlak van een minisilo.

Hierdoor zal waarschijnlijk het emissieverminderend effect van afdekking in de praktijk nog groter zijn dan in dit minisilo-onderzoek is gemeten. Immers de afdekkingen verminderen niet alleen de emissie zoals bij de minisilo's, ze voorkomen ook dat de wind vat krijgt op het mestoppervlak.

- De afdekkingen van de minisilo's zijn op schaal nagebouwde afdekkingen van praktijksilo's. De wettelijk voorgeschreven ontluuchtingsgaten zijn ook op schaal nageemaakt. In werkelijkheid zijn deze gaten veel groter en kan er meer lucht door. Hierdoor zal in de silo juist extra turbulentie op kunnen treden en dat zal extra emissie kunnen geven.

Omdat het onduidelijk is welke hypothese juist is, zijn de reductiepercentages zoals die bij de minisilo's zijn gemeten, de enige benadering voor de emissiereductie door afdekking bij praktijksilo's.

Dit onderzoek toont aan dat de gemeten geursterkte bij mestsilos laag is. Afdekken van silos kan de geursterkte terugdringen tot 30 % van de geursterkte van een niet afgedekte silo. Voornamelijk in de zomer kan dit reductiepercentage worden gerealiseerd, 's winters heeft afdekking vrijwel geen effect.

Emissiemeting met de Lindvalldoos vindt plaats onder geconditioneerde omstandigheden; er wordt gemeten met een vast luchtdebiet van $48 \text{ m}^3/\text{min}$. De gemeten emissie zal hierdoor bij de minisilo's lager zijn dan de werkelijk emissie. Immers op 2 m is de gemiddelde windsnelheid 2 tot 3 m/s en uit bijlage III blijkt, dat een rechtevenredig verband tussen emissiesnelheid en luchtsnelheid een redelijke benadering is. Na vermenigvuldiging van de gemiddelde emissie over de opslagperiode met de gemiddelde windsnelheid op 2 m hoogte van meteorologisch station Haarweg te Wageningen, is de emissie uit de niet afgedekte silo tijdens de zomeropslag ongeveer $700 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ en tijdens de winteropslag ongeveer $600 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$. De gemeten emissie met de balansmethode tijdens de zomeropslag was $580 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ en ongeveer $300 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ in de winter. Dit is lager dan de emissie berekend met de Lindvalldoos gecorrigeerd voor de windsnelheid. De werkelijk opgetreden emissie zal waarschijnlijk tussen $580 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ en $700 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ liggen in de zomer en tussen $300 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ en $600 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ in de winter.

4 CONCLUSIES

De geurconcentratie bij mestsilos gevuld met rundermengmest is laag. Afdekken dringt de geurconcentratie terug. In de zomer is met een goed afsluitende afdekking, die op de silo is gebouwd, een geurvermindering van 70% mogelijk. In de winter is het effect van afdekken kleiner, de afname van de geurconcentratie bedraagt hooguit 40%.

Het stikstofverlies ten gevolge van ammoniakvervluchtiging bedroeg bij de niet afgedekte minisilos 5% tot 15% van de oorspronkelijke hoeveelheid stikstof. Afdekking blijkt de ammoniakemissie sterk te verminderen. De emissiereductie die in dit onderzoek werd verkregen door afdekking bedroeg afhankelijk van het type afdekking en het seizoen 35% tot 85%. In tabel 5 wordt de emissiereductie per afdekking en per seizoen gespecificeerd.

De ammoniakemissie uit mestsilos zonder afdekking wordt beïnvloed door het seizoen. Gedurende de zomer is de emissie hoger dan tijdens de winter. De emissie uit afgedekte silos is minder aan seizoeninvloeden onderhevig. Afdekking heeft in de zomer dus meer effect dan in de winter.

Tabel 5: De vermindering van ammoniakemissie uit minisilos door afdekking

	Emissiereductie (%)					
	zomer			winter		
	Lindvalldoos		balans	Lindvalldoos		
	gem.	range		gem.	range	
polystyreen	84	72- 93	85	76	43- 94	
drijvende folie	86	74- 94	38	81	53- 96	
golfplaten	41	31- 61	36	48	14- 79	
tent	84	79- 92	84	70	58- 75	
kunststofpanelen				78	62- 89	
1/3 gevuld				32	-20- 55	

Gelijktijdig met de zomeropslag is in een ander onderzoek met dezelfde mest de ammoniakemissie gemeten aan een geïnduceerde korst. Een korst bleek de emissie met 75% te reduceren.

De balansmethode blijkt voor dit onderzoek niet altijd geschikt, vaak zijn de uitkomsten van de metingen zo onnauwkeurig dat ze voor de bepaling van de emissie niet kunnen worden gebruikt. In dit gedeelte van het onderzoek waren slechts de resultaten uit de zomerperiode bruikbaar. Met uitzondering van de meting aan de silo met drijvende folie kwamen de berekende reductiepercentages overeen met de reductiepercentages berekend met de Lindvalldoosmethode.

Wanneer een silo gedeeltelijk is gevuld, verschilt de ammoniakemissie enigszins van de emissie uit een volle silo. De gemeten ammoniakemissie uit de minisilo, die voor een derde was gevuld, was ongeveer 30% lager dan uit een volle minisilo. De emissiesnelheid tijdens de opslag bleef constant. Beschikbaarheid van stikstof dat kan vervluchtigen, was niet de beperkende factor bij de emissie van ammoniak uit de minisilo. Het procentuele verlies aan stikstof uit een niet afgedekte mestsilo wordt dus bepaald door de verhouding tussen het oppervlakte en de inhoud van de silo. Dit heeft tot gevolg dat het mogelijk is stikstofverlies uit een niet afgedekte silo te verminderen door de oppervlakte-inhoud verhouding van een silo te verkleinen.

De ammoniakemissie uit de niet afgedekte praktijksilo was zowel tijdens de winter als tijdens de zomer ongeveer tweemaal hoger dan de emissie uit de niet afgedekte minisilo. Voor de winter kan dit worden verklaard doordat in de winter de mesttemperatuur van de praktijksilo hoger is dan van de minisilo's. Het verschil in de zomer kan vooralsnog niet worden verklaard. Het effect van afdekking op de emissie uit praktijksilo's zal in de toekomst moeten blijken. Voorlopig zijn de gemeten reductie-percentages aan de minisilo's de beste benadering.

LITERATUUR

- Asman, W.A.H. (1987)
Atmospheric behaviour of ammonia and ammonium. Proefschrift
aan de Landbouwniversiteit te Wageningen
- Bode, M.J.C. de (1989)
Vermindering van ammoniakemissie door korstvorming op rund-
veemengmest; Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en
Gebouwen.
- 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
- Muck, R.E., Steenhuis, T.S. (1982)
Nitrogen losses from manure storages. Agricultural Wastes
4:41-54

Bijlage I

Gemeten ammoniakconcentraties tijdens monsternamen met de Lind-valldoos

zomeropslag 1988

Niet afgedekt

vuldatum: 31 mei

	meetdatum	aantal dagen na vullen	gemeten emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	
meting 1	01 jun	1	213,52	50%
meting 2	20 jun	20	280,51	17%
meting 3	05 jul	35	232,78	27%
meting 4	06 jul	36	229,48	12%
meting 5	20 jul	50	284,32	11%
meting 6	03 aug	64	222,75	12%
gem.			243,89	22%

Tempex

vuldatum: 31 mei

	meetdatum	aantal dagen na vullen	gemeten emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	
meting 1	14 jun	14	79,83	27%
meting 2	30 jun	30	17,65	59%
meting 3	14 jul	44	19,30	25%
meting 4	10 aug	71	68,06	75%
gem.			46,21	49%

Drijvende folie

vuldatum: 31 mei

	meetdatum	aantal dagen na vullen	gemeten emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	
meting 1	28 jun	28	27,11	118%
meting 2	12 jul	42	15,00	60%
meting 3	28 jul	58	57,11	46%
meting 4				
gem.			33,07	69%

Golfplaten

vuldatum:31 mei

	meetdatum	aantal dagen na vullen	gemeten emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	
meting 1	16 jun	16	193,25	10%
meting 2	29 jun	29	91,15	16%
meting 3	13 jul	43	132,39	15%
meting 4	11 aug	72	251,46	15%
gem.			167,06	13%

Tent

vuldatum:31 mei

	meetdatum	aantal dagen na vullen	gemeten emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	
meting 1	23 jun	23	22,80	78%
meting 2	11 jul	41	48,79	47%
meting 3	01 aug	62	43,25	38%
meting 4				
gem.			38,28	50%

Winteropslag 1987-1988

Niet afgedekt

vuldatum:03 okt

	meetdatum	aantal dagen na vullen	gemeten emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	
meting	1 09 jan	11	253,94	22%
meting	2 10 jan	12	133,68	18%
meting	3 24 nov	14	236,72	17%
meting	4 29 nov	19	150,80	25%
meting	5 02 dec	22	121,48	46%
meting	6 05 dec	25	306,71	14%
meting	7 02 feb	32	105,82	25%
meting	8 15 dec	35	69,91	58%
meting	9 22 dec	42	201,33	16%
meting	10 21 feb	55	142,17	34%
meting	11 16 jan	67	236,62	23%
meting	12 18 jan	69	163,79	21%
meting	13 22 feb	82	293,06	26%
meting	14 07 feb	89	128,85	25%
meting	15 09 feb	91	248,97	27%
meting	16 11 apr	97	63,79	29%
meting	17 28 feb	110	194,76	31%
meting	18 06 mrt	116	196,06	23%
meting	19 21 mrt	131	201,86	23%
meting	20 30 mrt	140	178,99	22%
meting	21 05 apr	146	107,70	62%
meting	22 13 apr	154	124,87	17%
meting	23 18 apr	159	71,15	42%
meting	24 25 apr	166	187,79	27%
meting	25 01 mei	172	269,23	33%
meting	26 08 mei	179	406,39	29%
gem.			184,48	26%

Kunststof panelen

vuldatum:05-jan

	meetdatum	aantal dagen na vullen	gemeten emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	
meting	1 12 jan	7	26,62	21%
meting	2 06 feb	32	48,01	23%
meting	3 27 feb	53	53,83	45%
meting	4 20 mrt	74	52,92	46%
meting	5 12 apr	97	32,27	115%
meting	6 27 apr	112	20,90	63%
gem.			39,09	49%

1/3 gevuld

vuldatum:10 nov

	meetdatum	aantal dagen na vullen	gemeten emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	
meting 1	01 dec	21	96,15	45%
meting 2	21 dec	41	138,37	16%
meting 3	17 jan	68	146,00	27%
meting 4	08 feb	90	100,10	29%
meting 5	01 mrt	111	96,58	66%
meting 6	22 mrt	132	102,58	36%
meting 7	17 apr	158	121,91	31%
meting 8	02 mei	173	166,11	31%
gem.			120,98	33%

Tempex

vuldatum:10 nov

	meetdatum	aantal dagen na vullen	gemeten emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	
meting 1	15 nov	5	104,06	39%
meting 2	14 dec	34	32,00	67%
meting 3	15 dec	35	28,50	92%
meting 4	05 jan	56	81,42	40%
meting 5	11 jan	62	42,89	16%
meting 6	01 feb	83	16,10	42%
meting 7	20 feb	102	52,40	51%
meting 8	24 feb	106	9,44	115%
meting 9	06 apr	147	41,87	39%
meting 10	26 apr	167	37,13	76%
gem.			44,58	49%

Drijvende folie

vuldatum:10 nov

	meetdatum	aantal dagen na vullen	gemeten emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	
meting 1	03 jan	54	17,96	124%
meting 2	14 feb	96	32,47	63%
meting 3	08 mrt	118	8,72	117%
meting 4	04 apr	145	72,55	71%
gem.			32,93	79%

Golfplaten

vuldatum:10 nov

	meetdatum	aantal dagen na vullen	gemeten emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	
meting 1	21 nov	11	84,03	30%
meting 2	22 nov	12	66,70	44%
meting 3	12 dec	32	31,23	96%
meting 4	04 jan	55	72,05	19%
meting 5	31 jan	82	181,89	47%
meting 6	15 feb	97	63,79	29%
meting 7	05 apr	146	107,70	62%
meting 8	25 apr	166	187,79	27%
gem.			99,40	40%

Tent

vuldatum:10 nov

	meetdatum	aantal dagen na vullen	gemeten emissie (in mg NH ₃ /m ² .h)	
meting 1	23 nov	13	47,52	57%
meting 2	06 dec	26	62,87	37%
meting 3	02 jan	53	48,91	50%
gem.			53,10	47%

Bijlage II

Mestanalyses van rundermengmest

Zomeropslag 1987

Niet afgedekt

		begin	eind
Nkj	(mg/kg)	4950	4600
NH ₄ -N	(mg/kg)	3150	2700
P	(mg/kg)	340	350
pH		7,4	7,7
drogestof	(g/kg)	81	76
volume	(l)	4671	4515

Tempex

		begin	eind
Nkj	(mg/kg)	4900	4600
NH ₄ -N	(mg/kg)	3200	3000
P	(mg/kg)	350	295
pH		7,4	7,6
drogestof	(g/kg)	81	72
volume	(l)	4678	4905

Drijvende folie

		begin	eind
Nkj	(mg/kg)	5000	4500
NH ₄ -N	(mg/kg)	3100	3000
P	(mg/kg)	330	315
pH		7,3	7,8
drogestof	(g/kg)	81	61
volume	(l)	4579	4763

Golfplaten

		begin	eind
Nkj	(mg/kg)	5000	4850
NH ₄ -N	(mg/kg)	3100	2850
P	(mg/kg)	330	320
pH		7,3	7,8
drogestof	(g/kg)	81	77
volume	(l)	4536	4366

Tent

		begin	eind
Nkj	(mg/kg)	5000	4900
NH ₄ -N	(mg/kg)	3100	3100
P	(mg/kg)	330	325
pH		7,3	7,8
drogestof	(g/kg)	81	74
volume	(l)	4408	4423

winteropslag 1987-1988

Niet afgedekt

		Begin(10/11)	9/12	9/2	27/4	Eind(16/5)
Nkj	(mg/kg)	5150	5540	4412	3980	3925
NH ⁴ -N	(mg/kg)	2490	2500	2600	2300	2315
P	(mg/kg)	733	695	371	228	300
K	(mg/kg)	4193	3575			
pH		7,6	7,6	7,6	7,8	7,7
drogestof	(g/kg)	91,5	83,2	81,0	73,1	76,8
as	(%)	29,5	29,3	29,6	28,0	28,9
Tot VVZ	(mg/kg)	6700	6180	3375	1988	654
volume	(l)	4664	4500	4997		5390

Polystyreen

		Begin(10/11)	9/12	9/2	27/4	Eind(16/5)
Nkj	(mg/kg)	5150	4965	4506	4094	4067
NH ⁴ -N	(mg/kg)	2490	2768	2556	2314	2547
P	(mg/kg)	733	785	399	233	305
K	(mg/kg)	4193	3887			
pH		7,6	7,6	7,4	7,6	7,6
drogestof	(g/kg)	91,5	92,4	81,0	67,9	70,5
as	(%)	29,5	29,3	29,9	29,8	29,3
Tot VVZ	(mg/kg)	6700	4739	4563	2457	767
volume	(l)	4664	4664	5174		5530

Drijvende folie

		Begin(10/11)	9/12	9/2	27/4	Eind(16/5)
Nkj	(mg/kg)	5150	5578	4429	4127	4050
NH ⁴ -N	(mg/kg)	2490	2671	2698	2351	2540
P	(mg/kg)	733	708	416	205	240
K	(mg/kg)	4193	3754			
pH		7,6	7,5	7,5	7,7	7,6
drogestof	(g/kg)	91,5	87,5	78,4	69,2	74,2
as	(%)	29,5	29,0	30,3	30,6	32,0
Tot VVZ	(mg/kg)	6700	6134	3791	2588	994
volume	(l)	4664	4664	5075		5390

Golfplaten

		Begin(10/11)	9/12	9/2	27/4	Eind(16/5)
Nkj	(mg/kg)	5150	5557	4576	4329	4467
NH ⁴ -N	(mg/kg)	2490	2416	2532	2444	2653
P	(mg/kg)	733	755	380	242	375
K	(mg/kg)	4193	3672			
pH		7,6	7,5	7,5	7,8	7,7
drogestof	(g/kg)	91,5	87,4	81,7	73,6	84,5
as	(%)	29,5	29,1	30,1	30,4	29,9
Tot VVZ	(mg/kg)	6700	6124	3098	1778	339
volume	(l)	4664	4664	4734		4680

Tent

		Begin(10/11)	9/12	9/2	27/4	Eind(16/5)
Nkj	(mg/kg)	5150	5650	4835	4876	4900
NH ₄ -N	(mg/kg)	2490	2690	2760	2774	2870
P	(mg/kg)	733	705	438	253	305
K	(mg/kg)	4193	3855			
pH		7,6	7,5	7,6	7,9	7,7
drogestof	(g/kg)	91,5	86,7	87,6	77,6	87,6
as	(%)	29,5	29,7	29,6	29,6	30,7
Tot VVZ	(mg/kg)	6700	6336	3975	1848	517
volume	(l)	4664	4600	4720		4680

Kunststof panelen

		Begin (05/1)	9/2	27/4	Eind(16/5)
Nkj	(mg/kg)	5960	4600	4250	4500
NH ₄ -N	(mg/kg)	2730	2840	2895	2890
P	(mg/kg)	683	346,5	252	385
K	(mg/kg)	3660			
pH		7,5	7,4	7,6	7,7
drogestof	(g/kg)	73,4	76,1	74	71,5
as	(%)	27,9	28,3	26,1	29,5
Tot VVZ	(mg/kg)	8159	5691	4600	2255
volume	(l)	4664	4664	4664	4580

1/3 gevuld

		Begin(10/11)	9/12	9/2	27/4	Eind(16/5)
Nkj	(mg/kg)	5150	4860	3600	3200	4533
NH ₄ -N	(mg/kg)	2490	2060	2010	1510	2583
P	(mg/kg)	733	630	369	240	370
K	(mg/kg)	4193	3250			
pH		7,6	7,5	7,6	7,4	7,7
drogestof	(g/kg)	91,5	78,4	73,2	65,3	76,9
as	(%)	29,5	29,0	29,4	28,1	29,8
Tot VVZ	(mg/kg)	6700	5084	2679	1871	1484
volume	(l)	1588	1700	1942		2410

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) :

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

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

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 berekend worden (Monteith, 1973):

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

waarbij

V = de stromingssnelheid (m/s)

l = lengte (m)

v = kinematische viscositeit van lucht (m²/s)

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 m/s, de lengte in de Lindvalldoos bedraagt 2 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 recht evenredig is met de windsnelheid. Zij stellen dat de vervluchtiging wordt veroorzaakt door een verschil in dampdruk, in formulevorm zo:

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

waarbij:

K_g = massatransportcoëfficiënt die afhankelijk is van temperatuur en windsnelheid

P_s, P_o = 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.

Het verschil in berekende emissie tussen beide methoden wordt dus waarschijnlijk niet veroorzaakt door de windsnelheid. De onnauwkeurigheid in de berekeningsmethoden van de ammoniakemissie is waarschijnlijk een grotere bron van onnauwkeurigheid dan het verschil in optredende windsnelheid bij beide methoden. In het verdere onderzoek zal extra aandacht aan de nauwkeurigheid worden besteed.

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.
Developments 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.
Monographs 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 Δx , 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 Δx . 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 5 : 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 bepalingsmethoden bepaald. Zowel de mogelijke als de statistische fout zijn 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).

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

waarin: E = ammoniakemissie (mg NH₃/m².uur)
 $C_{NH_3_{av}}$ = ammoniakconcentratie in absorptievloeistof (mg NH₃/l)
 V_{av} = volume absorptievloeistof (ml)
 AV_{av} = luchtvolume dat door absorptievloeistof is gezogen (m³)
 VS = volume lucht dat over de silo is geblazen (m³/s)
 A = oppervlakte silo (m²)

De mogelijke fout in de emissie wordt als volgt berekend.

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

$$\text{waarin: } C = ((C_{NH_3_{av}} * V_{av} / AV_{av})_{ult} - (C_{NH_3_{av}} * V_{av} / AV_{av})_{in})$$

$$\text{en } \Delta C = \Delta C_{ult} + \Delta C_{in}$$

$$\text{waarin: } \Delta C_{ult} = (\Delta C_{NH_3_{av}} / NH_{3_{av}} + \Delta V_{av} / V_{av} + \Delta AV_{av} / AV_{av}) * C_{ult}$$

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

$$\text{waarin: } C_{in} = (C_{NH_3_{av}} * V_{av} / AV_{av})_{in}$$

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

De ammoniakconcentratie in de absorptievloeistof ($C_{NH_3_{av}}$) 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 monsternamesflessen terecht komt. De monsternameslang loopt immers omlaag en bovendien wordt de gevormde condens aangezogen. De relatieve fout in de berekening van 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 gezogen is, 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 bij een lage emissie en bij een hoge emissie.

zomeropslag 1987

Eerst de situatie van een lage emissie. De emissie uit de silo afgedekt met de tentconstructie bedroeg gemiddeld over de opslagperiode 37 mg NH₃/m².uur. M.b.v. formule (1) is uit te rekenen dat bij een concentratie van de ingaande lucht van 15 µg/m³ de concentratie van de uitgaande lucht ongeveer 51 µg/m³ zal bedragen. De relatieve fout in de berekende C_{in} en C_{uit} is 25 + 2 + 4 = 31 %.

Hieruit volgt voor de relatieve fout in C :

$$\Delta C/C = (15,81 + 4,65)/(42 - 15) = 57\%$$

De mogelijke fout in de berekende emissie voor deze lage emissie wordt dan 57% + 25% van de onnauwkeurigheid in het luchtvolume over de doos = 82%.

Voor hoge emissies is de berekening nauwkeuriger. Voor dit voorbeeld wordt gebruik gemaakt van de gemiddelde emissie van de niet afgedekte silo. De emissie bedroeg 274 mg NH₃/m².uur. Uitgaande van een concentratie van 15 µg/m³ van de ingaande lucht kan met formule (1) worden uitgerekend dat de concentratie van de uitgaande lucht 285 µg/m³ bedroeg. 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:

$$\Delta C/C = (71,25 + 4,65) / (285 - 15) = 28\%$$

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

Winteropslag 1987-1988

De emissie van de afgedekte silo's was niet afhankelijk van het jaargetijde. De mogelijke fout in de berekende emissie van een afgedekte silo tijdens de winter is ook 57 %.

De emissie uit de niet afgedekte silo was in de winter beduidend lager dan in de zomer. De emissie bedroeg gemiddeld over de opslagperiode 184 mg NH₃/m².uur. Bij een concentratie van 15 g/m³ in de ingaande lucht had de uitgaande lucht volgens formule (1) een concentratie van 196 ~~mg~~g/m³. Hieruit volgt voor de relatieve fout in C in het geval van een hoge emissie:

$$\Delta C/C = (49,00 + 4,65) / (196 - 15) = 30\%$$

Voor hoge emissies is de mogelijke fout in de berekende emissie dan 30% + 25% = 55%.

De statistische fout

In bijlage 1 is bij elke etmaalgemiddelde emissie het 95% betrouwbaarheidsinterval vermeld. De relatieve fout in de metingen bedroeg 15% tot 30% bij niet afgedekte minisilo's en 25% tot 100% bij afgedekte minisilo's. 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 worden 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:

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

De relatieve fout in de berekende emissie is:

absolute fout Nkj_{begin} + absolute fout Nkj_{eind} / Nkj_{begin} - Nkj_{eind}
 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 de berekening van 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 zomer '88

Het Nkj-gehalte bij aanvang van de opslagperiode was 5000 mg N/l, de opslagtijd 76 dagen, de oppervlakte van de silo 2,835 m² en de silo was gevuld met 4650 l mest. In het geval van een niet afgedekte silo was de emissie berekend volgens de balansmethode ongeveer 600 mg NH₃/m².uur, de emissie uit de silo met tentafdekking bedroeg ongeveer 90 mg NH₃/m².uur.

De mogelijke fout in de emissie is dan:

$$\begin{array}{ll} \text{voor hoge emissie} & (4,68 + 4,16)/(23,39-20,80) = 342\% \\ \text{voor lage emissie} & (4,68 + 4,58)/(23,39-22,92) = 1970\% \end{array}$$

Opslag winter '88/89

Het Nkj-gehalte bij aanvang van de opslagperiode was 5150 mg N/l, de opslagtijd was 187 dagen en de vulhoogte 165 cm. De emissie was volgens de balansmethode ongeveer 350 mg NH₃/m².uur uit de niet afgedekte silo en niet te meten uit de silo's met afdekking. Omdat uit de metingen met de Lindvalldoos is gebleken dat de emissie uit een afgedekte silo zomer en winter ongeveer gelijk is, is voor de emissie uit een afgedekte silo dezelfde waarde aangenomen als tijdens de zomer, namelijk 90 mg NH₃/m².uur.

De mogelijke fout in de emissie is dan :

$$\begin{array}{ll} \text{voor hoge emissie} & (4,81 + 3,93)/(24,09-19,64) = 196\% \\ \text{voor lage emissie} & (4,81 + 4,59)/(24,09-22,94) = 817\% \end{array}$$

Voor lage emissies blijkt de balansmethode onnauwkeurig. Berekening van reductiepercentages kan het best met de Lindvalldoosmethode worden gedaan, mits men over voldoende waarnemingen beschikt.

Bijlage V

Samenstelling Begeleidingscommissie

R. Roos	Ministerie voor Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, voorzitter
ing. Th.A.M. Meijer	Regionale Inspectie Milieuhygiëne 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