

rapport a

Rapport A 90.086

AMMONIAKEMISSION BIJ VERSCHILLENDE
TOEDIENINGSMETHODEN VAN DUNNE MEST
AAN ZANDGRASLAND

ir. D.W. Bussink en ing. S.G. Tjalma

vertrouwelijk, niet voor publikatie

Rapport A 90.086

AMMONIAKEMISSION BIJ VERSCHILLENDE
TOEDIENINGSMETHODEN VAN DUNNE MEST
AAN ZANDGRASLAND

ir. D.W. Bussink en ing. S.G. Tjalma

Rapporten van het NMI dienen ter informatie van de opdrachtgever(s) en worden niet als officiële publikaties beschouwd. Zij bevatten veelal resultaten van niet afgesloten onderzoek en/of dienen als discussiestuk.

Rapporten worden slechts na overleg met de opdrachtgever(s) buiten het NMI verspreid.

Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever(s).

VERSPREIDING

ir. H.A.C. Verkerk	FOMA	20 x
ing. J.V. Klarenbeek	IMAG	1 x
ir. J.F.M. Huijsmans	IMAG	1 x
ing. M. Bruins	IMAG	1 x
dr.ir. W.H. Prins	NMI	1 x
ir. D.J. den Boer	NMI	1 x
dr.ir. O. Oenema	NMI	1 x
prof.dr.ir. L. 't Mannetje	NMI, voorzitter	1 x

Juni, 1991
BS/ST/SvB/90086

INHOUD

SAMENVATTING EN CONCLUSIES	2
INLEIDING	4
MATERIAAL EN METHODE	6
Proefopzet	6
De massabalansmethode	6
De meetopstelling	8
Proefuitvoering	9
Proefvelden	9
Mesttoediening	9
Ammoniakmetingen	10
Berekening NH_3 -flux	11
Begeleidende metingen	12
RESULTATEN EN DISCUSSIE	13
De ammoniakemissie per meetperiode	13
Weersinvloeden	16
pH-metingen	19
Grashoogtes	19
Vochtgehalte grond	19
Vullingsgraad en vorm van de sleuf	20
Foutenanalyse	21
Vergelijking met de resultaten van 1989	22
REFERENTIES	23
BIJLAGE 1. Resultaten grondonderzoek	24
BIJLAGE 2. Weergegevens van KNMI stations.	25
BIJLAGE 3. Berekening windprofiel voor week 14	26
BIJLAGE 4. Gemiddelde samenstelling van de gebruikte mest.	27
BIJLAGE 5. pH-metingen; gemiddelde pH (8 metingen) per object van het gras/mest/grondoppervlak	28
BIJLAGE 6. Grashoogtes in cm	28
BIJLAGE 7. Vochtgehalte van de grond.	28
BIJLAGE 8. Monte Carlo analyse voor de NMI meet-objecten.	29
BIJLAGE 9. Verdeling van de 100 gesimuleerde fluxen voor 6 tijdsintervallen van week 24 en week 26.	31
BIJLAGE 10. De basisresultaten van de emissie-berekeningen	33

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In 1990 is door het NMI en het IMAG gezamenlijk onderzoek verricht naar de beperking van ammoniakemissies bij het toedienen van dunne mest aan grasland. Het onderzoek is een vervolg van het onderzoek van 1989. In 1990 zijn zes toedieningstechnieken met elkaar vergeleken op zand- en veengrasland:

- bovengronds toedienen (10 ton/ha);
- bovengronds toedienen (10 ton/ha) gevolgd door inregenen met ongeveer 3 mm water;
- bovengronds toedienen van één op drie verdunde mest (één deel mest en drie delen water, in totaal 40 ton/ha);
- bovengronds toedienen van één op één verdunde mest (in totaal 20 ton/ha (alleen op veengrasland);
- zodebemesting (20 ton/ha);
- zode-injectie (20 ton/ha) (alleen op zandgrasland);
- aangezuurde mest (10 ton/ha).

Om het effect van deze technieken op de ammoniakemissie met elkaar te kunnen vergelijken zijn de metingen zoveel mogelijk onder dezelfde omstandigheden uitgevoerd. Dit betekent dat alle toedieningstechnieken op hetzelfde proefveld tegelijkertijd onderzocht zijn.

Er zijn drie meetcycli op zandgrond uitgevoerd en drie op veengrond. Als mestsoort werd alleen dunne rundermest (drm) gebruikt, omdat het onderzoek van 1989 geen grote verschillen te zien gaf tussen dunne rundermest en dunne varkensmest. De ammoniakemissie werd gemeten met behulp van de micrometeorologische massabalansmethode.

In dit rapport zijn de onderzoeksresultaten van de emissiemetingen op zandgrond vermeld. De onderzoeksresultaten van de emissiemetingen op veengrond worden door het IMAG gerapporteerd (Bruins, 1991).

- o Ten opzichte van bovengronds toedienen reduceert injectie de emissie met meer dan 94 procent. Aanzuren geeft een reductie variërend van 84 tot 99 procent. Zodebemesting geeft een reductie van de emissie variërend van 82 tot 99 procent. Verdunde mest geeft een reductie variërend van 63 tot 81 procent en bovengronds toedienen gevolgd door inregenen een reductie variërend van 45 tot 87 procent.
- o Deze emissiereductiepercentages komen goed overeen met die van 1989.
- o Het grootste deel van de totaal gemeten emissie treedt bij alle toedieningsmethoden op tijdens de eerste dag na uitrijden.
- o De gemeten emissies zijn sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Bij alle zes toedieningsvarianten zijn vooral de temperatuur en de hoeveelheid neerslag de eerste dag na toedienen bepalend voor het emissieniveau.

- o Bij hogere temperaturen nemen de te bereiken emissiereducties ten opzichte van bovengronds toedienen af.
- o Indien inregen wordt toegepast, is het zaak hiermee onmiddellijk na of tijdens het toedienen van dunne mest te beginnen.
- o Eén deel mest met drie delen water oppervlakkig toegediend lijkt meer emissiereductie te geven dan oppervlakkig toegediende mest die direct na uitrijden beregend wordt met drie delen water.

Uit de metingen van 1989 en 1990 blijkt dat er behoorlijke emissiereducties gerealiseerd kunnen worden door betere toedieningsmethoden. Absoluut zijn er grote verschillen in de gemeten emissies. Wordt de emissie weergegeven als percentage ten opzichte van bovengronds toegediende mest dan is er nog steeds een behoorlijke spreiding in de te bereiken emissiereductiepercentages. Naast de temperatuur en de hoeveelheid neerslag op de dag na toedienen kunnen factoren als vochtgehalte van de grond, gewashoogte en infiltratiesnelheid van mestvocht bij zodebemesting, zode-injectie, beregenen en verdunde mest van invloed zijn op de te realiseren emissiereductiepercentages. Het effect van deze factoren afzonderlijk kan in een veldproef niet direct worden vastgesteld. Inzicht in het effect van deze factoren en hoe deze te beïnvloeden zijn kan mogelijk de bandbreedte van de reductiepercentages vernauwen.

De effecten van sleufgeometrie en vullingsgraad kunnen van invloed zijn op het te bereiken emissiereductiepercentage bij zodebemesting. Inzicht in het effect van deze factoren kan eveneens bijdragen tot een bandbreedtevernauwing van de tot nu toe vastgestelde reductiepercentages. Hierdoor kan een nauwkeuriger gemiddelde en een mogelijk grotere emissiereductie worden bewerkstelligd.

Aanvullend laboratoriumonderzoek naar het effect van de sleufgeometrie en vullingsgraad bij zodebemesting en naar de invloed van gewashoogte en vochtgehalte van de grond is dan ook gewenst. Temeer daar de uiteindelijk te realiseren emissiereductiepercentages bij het toedienen van mest in sterke mate bepalen hoeveel aanvullende maatregelen, bijvoorbeeld op stalniveau, doorgevoerd moeten worden om de doelstelling van 70 procent emissiereductie te realiseren.

INLEIDING

In 1989 is door het NMI en het IMAG gezamenlijk onderzoek verricht naar de beperking van ammoniakemissies bij het toedienen van dunne mest aan grasland. Daartoe zijn vijf toedieningstechnieken op hetzelfde proefveld tegelijkertijd onderzocht:

- bovengronds toedienen;
- bovengronds toedienen gevolgd door inregenen;
- bovengronds toedienen van één op drie verdunde mest (één deel mest en drie delen water);
- zodebemesting;
- mestinjectie.

Er zijn twee metingen in maart en april op zandgrond uitgevoerd en twee in juli op kalkrijke kleigrond. In maart en bij de eerste serie in juli werd dunne rundermest (drm) toegediend en in april en in de tweede serie in juli dunne varkensmest. De ammoniakemissie werd gemeten met behulp van de micrometeorologische massabalansmethode.

Uit het onderzoek van 1989 kwam naar voren dat de emissie van ammoniak flink gereduceerd kon worden. Uitgedrukt als percentage van de in de mest aanwezige ammoniumstikstof werd de emissie ten opzichte van bovengronds toedienen bij injectie met meer dan 98 procent gereduceerd. Zodebemesting gaf een reductie van de emissie variërend van 84 tot 91 procent. Verdunde mest gaf een reductie variërend van 45 tot 73 procent en bovengronds toedienen gevolgd door inregenen een reductie variërend van 55 tot 90 procent. De gemeten emissies waren sterk afhankelijk van de weersomstandigheden.

Op grond van de grote variatie in de gemeten emissies is het echter niet verantwoord om op basis van deze vier meetcycli te werken met een gemiddeld reductiepercentage ten opzichte van bovengronds toedienen. Aanvullend onderzoek was dan ook gewenst om de gevonden reductiepercentages beter te onderbouwen.

Verder is in 1989 veengrasland buiten beschouwing gelaten. Veengrasland is minder geschikt voor injectie of zodebemesting vanwege de zwaarte van de machines die worden gebruikt en het grote risico van het open blijven staan van de sleuven na toepassing van deze technieken. Hier zou het toedienen van verdunde mest of aangezuurde mest interessant kunnen zijn.

Door het IMAG en het NMI is een proefopzet gemaakt voor het uitvoeren van twee meetcycli op zandgrasland ter verificatie van de resultaten van 1989 en voor het uitvoeren van drie meetcycli op veengrasland.

Dit rapport beschrijft de resultaten van drie meetcycli van ammoniakemissiemetingen op zandgrond waarin zes technieken direct met elkaar vergeleken zijn. Dit zijn:

- oppervlakkig toedienen;
- oppervlakkig toedienen gevolgd door inregenen;
- oppervlakkig toedienen van verdunde mest;
- inbrengen van mest in een openstaande sleuf in de grond tot ongeveer 7 cm beneden maaiveld (zodebemesting);
- injectie op ongeveer 10 cm beneden maaiveld (zode-injectie);
- oppervlakkig toedienen van aangezuurde mest.

De resultaten van drie meetcycli ammoniakemissiemetingen op veengrasland worden door het IMAG gerapporteerd (Bruins, 1991).

MATERIAAL EN METHODE

Proefopzet

De ammoniakemissie bij bovengrondse toediening hangt sterk af van de weersomstandigheden. Om het effect op de ammoniakemissie van verschillende technieken met elkaar te kunnen vergelijken is het belangrijk metingen zoveel mogelijk onder dezelfde omstandigheden uit te voeren. Dit betekent dat alle toedieningstechnieken op hetzelfde proefveld en tegelijkertijd beproefd dienen te worden.

In vergelijkende veldproeven zijn de vervluchtigingen gemeten met gebruikmaking van praktijkmachines bij:

- bovengronds toedienen;
- bovengronds toedienen gevolgd door inregenen;
- bovengronds toedienen van één op drie verdunde mest (één deel mest en drie delen water);
- zodebemesting;
- zode-injectie;
- aanzuren.

In totaal zijn er drie meetcycli geweest, waarbij alle zes objecten direct met elkaar konden worden vergeleken. In de proeven is alleen gebruik gemaakt van dunne rundermest (drm), omdat er in 1989 geen duidelijk verschillen konden worden aangetoond tussen drm en dunne varkenmest.

Door technische problemen (veroorzaakt door o.a. het koude weer) moest de eerste cyclus in april, in juni worden herhaald. Ook de tweede meetcyclus is in juni uitgevoerd.

Bij de gehele proef was het de bedoeling de praktijkomstandigheden voor het uitrijden van dunne mest zo goed mogelijk te benaderen. Daartoe is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van praktijkmachines en zijn de hoeveelheden toegediende mest afgestemd op het advies voor de praktijk. Gestreefd werd om bij bovengronds 10 ton (al dan niet gevolgd door inregenen), bij bovengronds verdund 40 ton (één op drie verdund), bij zodebemesting 20 ton en bij zode-injectie 30 ton per ha toe te dienen. De mest werd toegediend aan grasland met een gewashoogte die overeenkomt met die van gemaaid of gebloot grasland.

Om deze proef technisch te kunnen uitvoeren is gebruik gemaakt van vier meetopstellingen van het IMAG en twee meetopstellingen van het NMI.

De massabalansmethode

In het kort komt de meetmethode erop neer dat het verschil in ammoniak af- en aanvoer van een veldje wordt gemeten. Daartoe wordt gewerkt met twee masten. De ene is geplaatst in het centrum van het proefveld (de centrale mast) en de andere daar waar de wind het proefveld binnenkomt (de randmast). Op verschillende hoogten worden de ammoniakconcentratie in de lucht en de windsnelheid bepaald. Daarnaast wordt ook de windrichting geregistreerd. Met deze gegevens wordt de ammo-

niakstroom (flux) die het veld binnenkomt en verlaat berekend. Het verschil tussen deze twee is de hoeveelheid ammoniak die vervluchtigd is.

Als de ammoniakstroom die het veld binnenkomt nul is kan de ammoniakstroom die het veld verlaat als volgt worden weergegeven:

$$F = (1/x) \int_{z_0}^{z_p} \{\bar{u}\bar{c}\} dz \quad (1)$$

- F = flux in $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
- x = fetch, de afstand in meters tussen de plaats waar de wind het veld binnenkomt en de centrale mast. Bij een rond veld is x gelijk aan de straal. Bij een vierkant veld moet deze berekend worden.
- z_p = de hoogte boven het veldje waar de ammoniakconcentratie gelijk wordt aan de achtergrondsconcentratie (in m).
- z_0 = de ruwheidshoogte in meters (hier wordt de windsnelheid 0).
- $\bar{u}\bar{c}$ = de over de tijd gemiddelde horinzontale flux op een willekeurige hoogte van de centrale mast in $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$.

Wordt $\bar{u}\bar{c}$ nu geschreven als de som van gemiddelden, $\bar{u}$ en $\bar{c}$, en fluctuaties om deze gemiddelden, $\bar{u}'$ en $\bar{c}'$, dan wordt de vergelijking voor de ammoniakflux:

$$F = (1/x) \int_{z_0}^{z_p} (\bar{u} \bar{c} + \bar{u}' \bar{c}') dz \quad (2)$$

De eerste term binnen de integraal wordt veroorzaakt door horizontale convectie terwijl de tweede veroorzaakt wordt door horizontale diffusie. De diffuse flux vindt plaats in tegengestelde richting van de convectieve flux. De term $\bar{u}\bar{c}$ is moeilijk direct te meten. Om die reden worden $\bar{u}$ (de over de tijd gemiddelde windsnelheid) en $\bar{c}$ (de over de tijd gemiddelde concentratie) meestal op meerdere hoogten bepaald. De diffusie-term wordt in het algemeen verwaarloosd omdat die klein is vergeleken met de convectieterm (minder dan 10 procent). De diffusie-term wordt hier ook verwaarloosd. De fluxvergelijking wordt nu:

$$F = (1/x) \int_{z_0}^{z_p} \bar{u} \bar{c} dz \quad (3)$$

Om (3) te kunnen oplossen is het gewenst $\bar{u}$ en $\bar{c}$ als functie van de hoogte (z) te kennen. In het geval van grote proefveldoppervlakken nemen $\bar{u}$ en $\bar{c}$ logaritmisch lineair toe met de hoogte. Bij kleine oppervlakken dient een empirische relatie tussen de hoogte en $\bar{u}$ en $\bar{c}$ te worden vastgesteld of (3) moet

numeriek worden opgelost. Het succesvol toepassen van (3) vereist dat $\bar{u}$ en $\bar{c}$ gemeten worden tot de hoogte van die luchtlaag die nog concentratieverhogingen vertoont (z_p) ten gevolge van ammoniakemissie. De hoogte van z_p hangt af van de oppervlakteruwheid, de atmosferische stabiliteit en de fetch. Ruwweg ligt z_p ongeveer in de orde van grootte van 0,1x, maar de atmosferische stabiliteit is hierop van grote invloed. De fetch moet nauwkeurig bekend zijn. Als het veldje vierkant is varieert de fetch met de windrichting. Het is dan noodzakelijk regelmatig de windrichting te meten om aldus een gemiddelde fetch van het veldje gedurende een tijdsperiode te kunnen bepalen. Ideaal is dan ook een rond veldje.

De meetopstelling

Voor de veldmeting wordt gebruik gemaakt van dunne verplaatsbare aluminium masten. Aan de masten kunnen op meerdere hoogtes gaswasflessen aan de mast geklemd worden. Op de masten in het centrum van het object werd de ammoniakconcentratie in de lucht op acht hoogtes: 0,25, 0,40, 0,55, 0,75, 1,00, 1,30, 2,00 en 3,30 meter bepaald. Op de NMI-randmasten is de ammoniakconcentratie in de lucht op vijf hoogtes: 0,40, 0,75, 1,00, 1,30 en 2,30 meter bepaald. Op de IMAG-randmasten is de ammoniakconcentratie in de lucht op vier hoogtes: 0,40, 0,75, 1,00 en 2,00 meter bepaald.

Op de twee NMI-meetobjecten vond één duplo meting van de ammoniakconcentratie plaats om een schatting te kunnen maken van de meetfout (bijlage 3). De ammoniakconcentratie in de lucht kan worden vastgesteld door lucht door een wasfles met een 0,01 M salpeterzuuroplossing te leiden. De ammoniak blijft in de wasfles achter als ammoniumnitraat. Op een mast buiten de meetobjecten werd de windsnelheid op zeven hoogtes tussen 0,40 en 3,50 meter gemeten om het windprofiel te kunnen bepalen.

In de meetopstelling van het NMI staan de masten via een PVC-slang (ϕ 5mm) in verbinding met luchtpompen. De aangezogen lucht per tijdseenheid wordt gereguleerd met behulp van een flowmeter. Er vindt een correctie plaats voor het drukverlies tussen de flowmeter en de wasfles.

De IMAG-meetopstelling is in principe hetzelfde. De lucht wordt hier echter via één pomp met een verdeelunit aangezogen. Deze pomp zuigt een constante hoeveelheid lucht aan die afkomstig is van de 12 aanzuigpunten. De flowmeting net na het aanzuigpunt werd uitgevoerd met behulp van een losse Platon flowmeter.

Proefuitvoering

Gepland was om twee meetcycli uit te voeren; één keer in april (week 14) en één keer in juni (week 24). Door technische problemen met de meteorologische apparatuur is er in juni (week 26) nog een derde meetcyclus uitgevoerd.

Proefvelden

Het proefveld lag op zandgrond te Luttenberg, in een perceel met een oppervlakte van ongeveer acht hectare. Per proefveld zijn de zes meetobjecten steeds zo goed mogelijk verspreid over het perceel aangelegd om onderlinge beïnvloeding te voorkomen.

De kortste afstand tussen de objecten varieerde tussen de 50 en 150 meter.

Mesttoediening

Voor de bovengrondse toediening van de mest is gebruik gemaakt van een vacuüm mengmestverspreider (een praktijkmachine) en een doseermachine voor proefvelden (IB). Bij de vacuüm verspreider is de mest via een ketsplaat over een breedte van ongeveer acht meter verspreid. De doseermachine bestaat uit een mestverdeelboom met drie kleine ketsplaten met een gezamenlijke werkbreedte van drie meter.

In tabel 1 is weergegeven welke machines zijn toegepast op de objecten met bovengrondse toediening (mest, verdund, ingeregend en aangezuurd) voor de drie meetcycli op zandgrond.

TABEL 1. De gebruikte machines bij bovengrondse toediening.

Object	mest	verdunnen	inregenen	aanzuren
week 14	vac. tank	vac. tank	vac. tank	vac. tank
week 24	IB	IB	vac. tank	vac. tank
week 26	IB	IB	vac. tank	vac. tank

Verdunning van de mest heeft plaatsgevonden vlak vóór de mesttoediening of op de dag voor toediening. Alvorens verdunnen de mest uit te rijden is door overpompen een goede menging bewerkstelligd.

Het inregenen van de mest is vrijwel direct na de mesttoediening uitgevoerd met een slangeninstallatie (systeem Baars). Gestreefd werd om ongeveer 3mm water toe te dienen. Deze hoeveelheid werd gekozen om dit object goed te kunnen vergelijken met verdunde mest. Verder kan een perceel met een slangeninstallatie in één keer worden beregend.

Bij de zodebemesting is de mest toegediend aan sleufjes in de grond met een onderlinge afstand van 20 cm. Twee schuinstaande schijven worden door de grond getrokken, waardoor een V-vormige sleuf ontstaat, waarin de mest wordt toegediend.

Aan het oppervlak blijft afhankelijk van de bodemcondities ± 2 cm sleufbreedte open staan. Bij een sleufdiepte tot 10 cm kan 20 tot 25 m³ mest per ha gedoseerd worden zonder dat de mest uit de sleuven loopt en het gras besmeurt.

Bij de zode-injectie wordt met een schijfkouter een snee in de grond gemaakt. Daarachter loopt een injectietand die door zijn breedte een sleuf maakt waar de mest wordt ingebracht. De injectietanden hebben een onderlinge afstand van 30 cm en plaatsen de mest op een diepte van ± 10 cm. De tanden waren niet voorzien van ganzevoeten. De injectiesleuven worden gelijk na het passeren van de injectietand dichtgerold via twee schuinstaande rollen, zo wordt het contact met de atmosfeer tot een minimum beperkt.

De objecten zijn aangelegd door de mest uit te rijden in stroken van een variabele lengte, zo ontstond een cirkel met een diameter van ongeveer 45 meter. Per meetobject zijn van de toe te dienen mest drie mestmonsters genomen bij de drie meetcycli.

Een voorwaarde voor het toepassen van de massabalansmethode is een gelijkmatige verdeling van de mest op object. De verdeling van de mest over de uitrijstroken is echter niet bekend. Daar de mest in meerdere smalle stroken wordt toegediend wordt verondersteld dat de verdeling over het gehele proefveld goed is.

Ammoniakmetingen

Bij het uitzetten van de veldjes en bij het toedienen van de mest is rekening gehouden met de windrichting. Dit wil zeggen dat zoveel mogelijk is geprobeerd de veldjes zodanig uit te zetten dat eerst mest wordt toegediend aan de helft van het object gelegen aan de lijzijde van centrale mast. Op het moment dat aan deze helft mest is toegediend wordt de centrale mast geplaatst en worden de wasflessen aan de mast gehangen. Op deze wijze verstrijkt er weinig tijd voordat de emissie van de aan de loefzijde toegediende mest wordt gemeten. In de berekening van de ammoniakemissie is het tijdsverschil tussen toedienen en het begin van de meting verdisconteerd. Op de zes veldjes is de mest binnen een periode van twee uur toegediend. De volgorde van uitrijden is daarbij zodanig gekozen dat het eerst mest is toegediend aan objecten waarvan werd verwacht dat ze de laagste emissie zouden geven. In 1989 is de emissie tot 10 dagen na toedienen gemeten. De metingen van toen toonden aan dat binnen enkele dagen het emissieniveau weer tot nul was gereduceerd. In 1990 zijn daarom slechts gedurende een periode van vijf dagen emissiemetingen uitgevoerd.

De wasflessen zijn met een afnemende intensiteit gewisseld.
Het wisselschema was ongeveer als volgt:

- dag 1 - 0,5 uur na opstarten
 - 1,5 uur na opstarten
 - 3 uur na opstarten
 - 6 uur na opstarten
 - 's avonds om 21.00 uur (zonsondergang)
dag 2 tot 5 - 's ochtends en 's avonds
dag 5 - 's ochtends

In juli zijn de wasflessen op het object waar de mest bovengronds werd toegediend ook één uur na opstarten gewisseld. Na toedienen zijn de objecten opgemeten om de fetch van het object te kunnen bepalen en om te kunnen uitrekenen hoeveel mest er was toegediend per ha.

In tabel 2 zijn de toegediende hoeveelheden dunne rundermest per ha weergegeven. Uit de tabel blijkt nog eens dat het moeilijk is om met praktijkmachines de streefhoeveelheid te realiseren.

TABEL 2. Toegediende hoeveelheden en streefhoeveelheid dunne rundermest in ton/ha.

methode	week 14	week 24	week 26	streven
bovengronds	14,8	9,9	9,8	10
bovengronds verdund	47,8	39,0	38,6	40
bovengronds en inregen	15,1	7,8	9,0	10
zodebemesting	19,3	22,2	25,0	20
zode-injectie	16,8	21,9	22,0	20
aanzuren	12,2	8,7	8,6	10

De hoeveelheid mest die is toegediend wordt afgeleid door de mesttoedieningscombinatie voor en na uitrijden te wegen. Het verschil in gewicht is de toegediende hoeveelheid. De oppervlakte van een object waaraan mest is toegediend wordt vastgesteld door opmeten direct na het toedienen. De hoeveelheid die per ha is toegediend kan nu worden vastgesteld. Het begin- en eindpunt van een meststrook is niet scherp. Bij het opmeten van een strook wordt maximaal een fout gemaakt van 1 meter. Ook de buitenste rand (loodrecht op de rijrichting van de toedieningscombinatie) bij bovengronds toedienen is niet scherp. Dit geeft uiteindelijk een fout van maximaal 5 procent in de toegediende hoeveelheid.

Berekening NH₃-flux

De gegevens van de veldmeting zijn met een 'GENSTAT' computerprogramma bewerkt. Van iedere meetperiode zijn de volgende gegevens ingevoerd in de computer:

- tijd tussen de monsterwisselingen;
- straal van de cirkel;

- hoogtes van de windmeters;
- de windsnelheid op uurbasis;
- de hoogten en de berekende NH_3 -concentraties van iedere hoogte op de centrale mast en de randmast.

Voor het vaststellen van de relatie tussen $\bar{u}$ en z wordt een logaritmisch lineair verband uitgerekend tussen de windsnelheid en de hoogte. Hoge correlatiecoëfficiënten ($r^2 > 0,98$) bevestigen dat dit een redelijke aanname is. Het meetobject is betrekkelijk klein van omvang. Een logaritmisch verband tussen $\bar{c}$ en z wordt dan ook zelden gevonden. Met de computer worden de concentraties per hoogte berekend door een rechtlijnige interpolatie tussen de meetpunten.

Om de NH_3 -flux te berekenen moet bepaald worden op welke hoogte (z_p) de concentratie op de centrale mast gelijk is aan de achtergrondconcentratie. Daartoe dient het concentratieprofiel van de randmast met de hoogte bekend te zijn. Deze kan als volgt worden vastgesteld als:

- a) een logaritmisch lineair verband met de hoogte;
- b) gemiddelde van de randmastconcentraties;
- c) gemiddelde van de bovenste punten van de centrale mast.

Door de plaats van aanleg van de meetobjecten zou de achtergrondsconcentratie constant moeten zijn met de hoogte, daar er nauwelijks beïnvloeding is van buurpercelen. Situatie b) komt dan ook het meest voor.

Bij het niet tijdig opmerken van het draaien van de wind, zodat de randmast niet meer op de wind maar van de wind afstaat, kunnen de waarden van de randmast niet gebruikt worden en dient optie c) gebruikt te worden. Dit kan meestal ook wel, omdat bij een windsnelheid van enkele meters per seconde z_p veelal lager ligt dan 2.50 meter. Optie a) wordt gebruikt als in de nabijheid koeien grazen of als er mest is uitgerekend.

Als een van de opties gekozen is kan z_p berekend worden. Volgens wordt in het programma met behulp van formule (3) numeriek met een stapgrootte van 1 cm de flux berekend die het veld binnenkomt en verlaat. Het verschil tussen deze twee, gesommeerd over de hoogte, is de ammoniakemissie in kg per seconde en per vierkante meter.

Begeleidende metingen

Om verschillen in emissie te kunnen verklaren zijn naast de grondanalyse en windsnelheid de volgende parameters gemeten:

- de lucht temperatuur op 1,5 m;
- de relatieve luchtvochtigheid;
- de globale straling;
- de grashoogte per object op het moment van uitrijden;
- de pH per object na mest toedienen;
- het vochtgehalte van de bovenste 5 cm per object (voor mest toedienen).

RESULTATEN EN DISCUSSIE

De ammoniakemissie per meetperiode

Tijdens de eerste meetcyclus in april was het op de dag van toedienen zonnig, warm en droog. Op de tweede dag na toedienen daalde de temperatuur sterk met 's nachts minima beneden het vriespunt. Ook viel er af en toe neerslag in de vorm van hagel en natte sneeuw (bijlage 2). Bij de tweede meetcyclus was het zonnig, droog en vrij koud (figuur 1). Bij de derde meetcyclus was het warm (figuur 2). Twee dagen na toedienen viel er tijdens een onweersbui ongeveer 20 mm neerslag. Door problemen met de meteo-apparatuur tijdens de metingen in week 14 zijn de windprofielen slechts globaal bekend (bijlage 3). Het absolute niveau van de emissie uitgedrukt als percentage van in de mest aanwezige ammonium-N is daardoor niet betrouwbaar. De berekende emissieniveaus kunnen alleen relatief met elkaar worden vergeleken, waarbij de emissie bij bovengronds toedienen op 100 is gesteld (tabel 3). In tabel 3 zijn voor week 24 en week 26 de emissieresultaten ook weergegeven als percentage van de in de mest aanwezige ammoniumstikstof.

TABEL 3. Ammoniakemissie als percentage van de in de mest aanwezige ammoniumstikstof (absoluut) en als percentage ten opzichte van bovengronds toedienen (relatief), bij verschillende methoden van toediening van dunne rundermest (drm).

methode	absoluut		relatief		
	24	26	14	24	26
bovengronds	34	51	100	100	100
bovengronds verdund (1:3)	13	14	19	37	28
bovengronds + beregemen	4,6	28	55	13	54
zodebemesting	3,9	9,3	0,6	12	18
zode-injectie	1,1	3,0	1,9	3,8	5,9
aanzuren	0,2	7,0	3,7	0,6	14

Uit tabel 3 blijkt dat zode-injectie en aanzuren de beste resultaten geven. Zodebemesting geeft minder goede resultaten dan injectie, maar is toch duidelijk beter dan bovengronds toedienen van verdunde mest en bovengronds toedienen gevolgd door inregenen. Opvallend is het grote verschil in emissie (zowel absoluut als relatief) tussen week 24 en week 26 bij bovengronds toedienen gevolgd door inregenen.

Uit de tabel is af te leiden dat zode-injectie de emissie met meer dan 94 procent reduceert. Zodebemesting geeft een reductie van de emissie variërend van 82 tot 99 procent. Verdunde mest geeft een reductie variërend van 63 tot 81 procent. Bovengronds toedienen gevolgd door inregenen geeft een reductie variërend van 45 tot 87 procent. Aanzuren geeft een emissie-reductie variërend van 86 tot 99 procent.

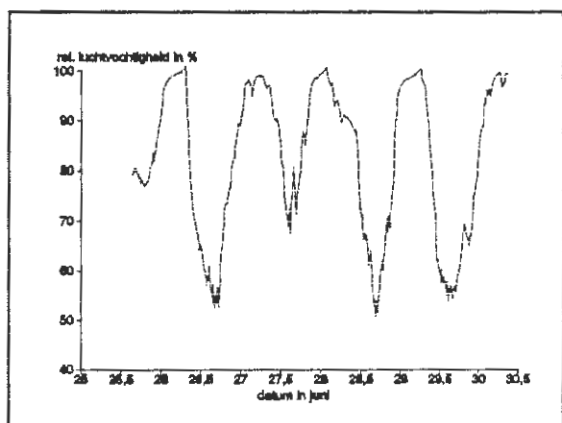
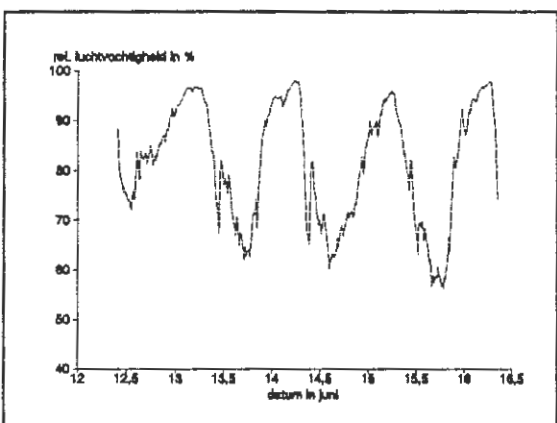
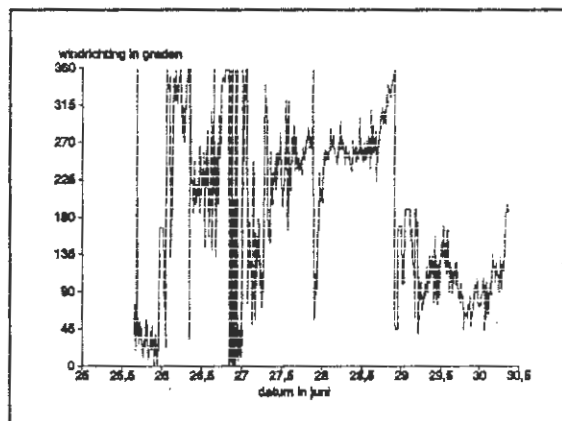
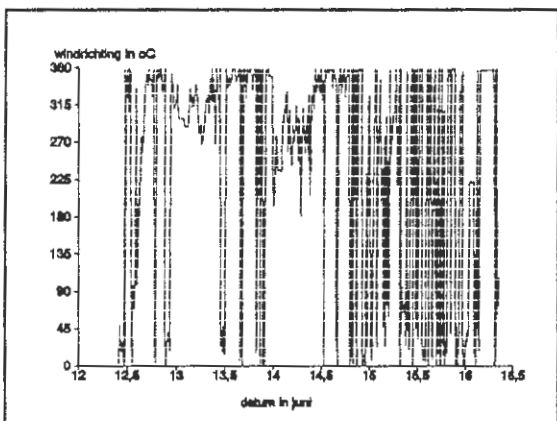
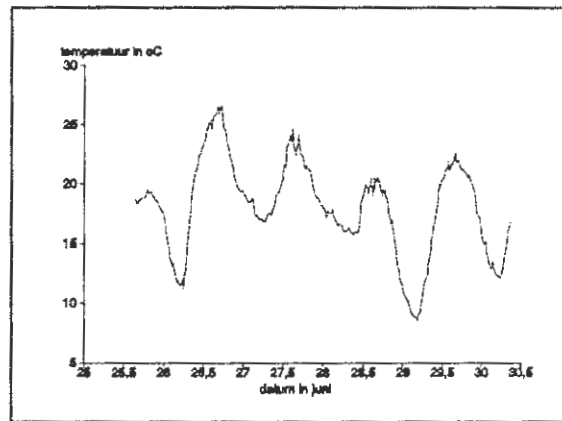
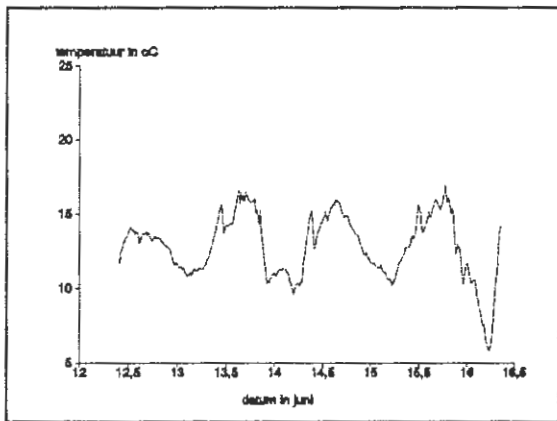
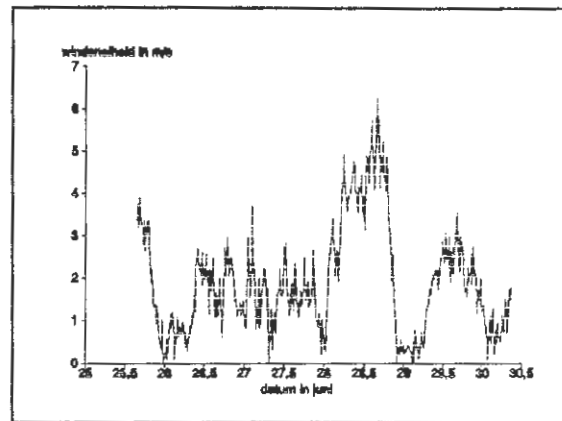
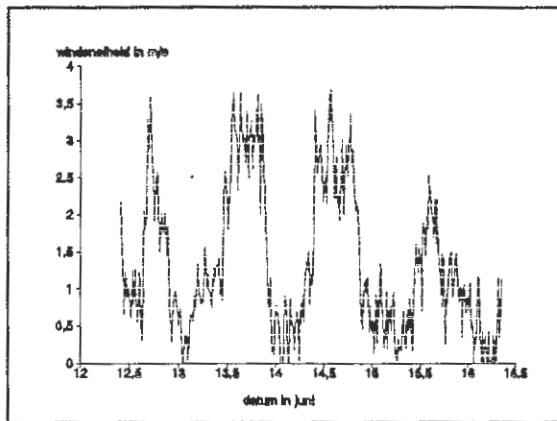
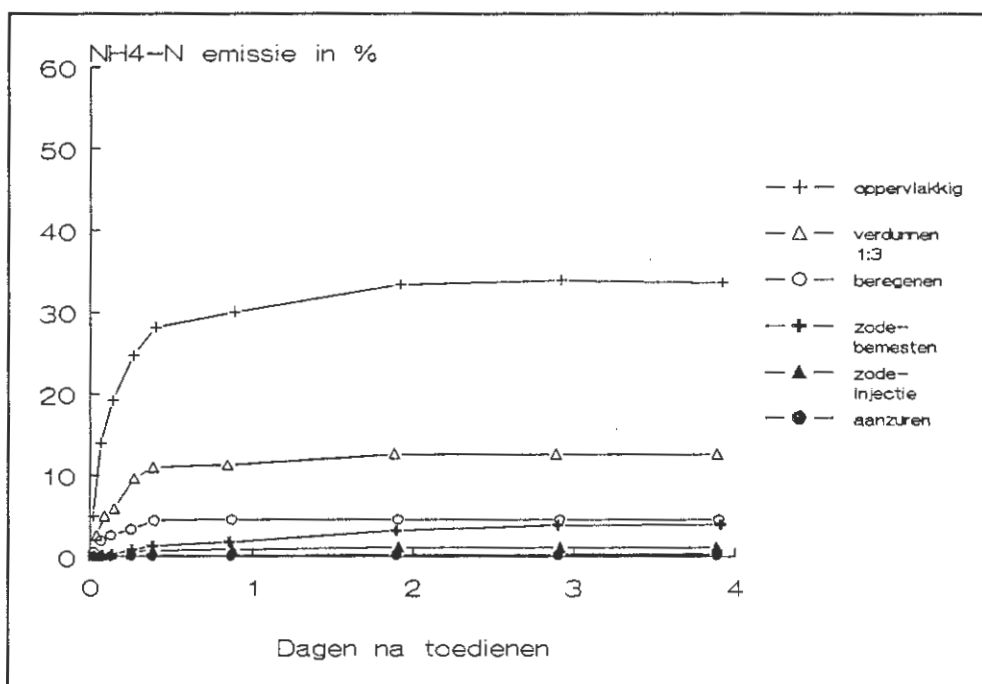
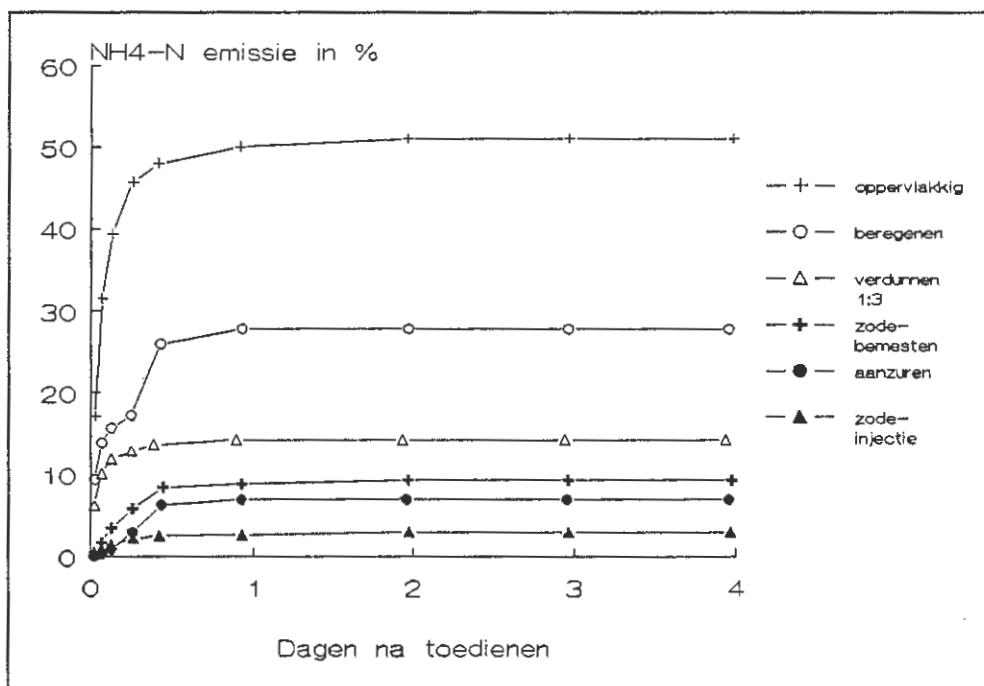


FIG 1. De temperatuur en windsnelheid op 1,5 meter hoogte, de windrichting en de relatieve vochtigheid van 12 juni tot 17 juni (week 24) in Luttenberg.

FIG 2. De temperatuur en windsnelheid op 1,5 meter hoogte, de windrichting en de relatieve vochtigheid van 26 juni tot 1 juli (week 26) in Luttenberg.



FIGUUR 3. De ammoniakemissie als percentage van de in de drm aanwezige ammoniumstikstof bij toepassing van zes verschillende toedieningstechnieken op zandgrasland op 12 juni.



FIGUUR 4. De ammoniakemissie als percentage van de in de drm aanwezige ammoniumstikstof bij toepassing van zes verschillende toedieningstechnieken op zandgrasland op 26 juni.

Uit de figuren 3 en 4 en bijlage 10 blijkt dat bij bovengronds, bovengronds verdund en bovengronds plus beregenen de eerste uren na uitrijden de grootste emissie optreedt. Verder blijkt dat van de totale emissie ongeveer 90 procent plaatsvindt gedurende de eerste dag na uitrijden. Na de eerste meetdag wordt nauwelijks nog emissie gemeten op deze drie objecten, hoewel er nog een groot deel van de toegediende NH_4^+ aanwezig moet zijn. De verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat door de nachtelijke dauwvorming NH_4^+ dat zich nog aan het gras bevindt alsnog in de bodem kan infiltreren. Ook NH_4^+ dat zich in de toplaag van de bodem bevindt kan dieper infiltreren. Ammoniak afkomstig van het grondoppervlak moet nu eerst via diffusie naar het grensvlak van gras en atmosfeer getransporteerd worden voordat de wind er vat op krijgt en voor een snelle afvoer zorgt. Dit kan het mechanisme zijn voor de snelle afname van de emissie.

Weersinvloeden

De invloed van het weer is vooral bij bovengronds toediening van dunne mest van belang. Per keer uitrijden wordt ongeveer 10m^3 mest per hectare toegediend, hetgeen overeenkomt met 1 mm per hectare. Bij deze hoeveelheid krijgt de mest in eerste instantie niet of nauwelijks de kans in contact te komen met de grond. De mest blijft op het blad kleven (ook visueel waargenomen). Bij een hoge temperatuur en (dus) een hoge referentie-gewasverdamping droogt het mestvocht snel op. Hierdoor neemt de concentratie NH_4^+ in het mestvocht sterk toe. Het gevolg is een toeneming van de NH_3 -dampdruk vlak boven het gewasoppervlak, waardoor de NH_3 -emissie sterk toeneemt.

Het effect van temperatuur en verdamping op de NH_3 -dampdruk kan met de volgende formule worden weergegeven (Freney et al. 1983):

$$p(\text{NH}_3) = RT \cdot (10^{1,60352-4207,62/T}) \cdot \frac{(\text{NH}_4^+)_{\text{solution}}}{(\text{H}^+)}$$

p - dampdruk in bar

R - universele gasconstante; 0,0831 liter.bar/K

T - temperatuur in °K

Op het moment van uitrijden was de temperatuur in week 24 ongeveer 15 °C en in week 26 ongeveer 21°C (figuren 3 en 4), waardoor ook de referentie-gewasverdamping hoger was.

Bij een pH van 7,3 en bij NH_4^+ activiteit van 0,15 ($\approx 2,5 \text{ kg NH}_4\text{-N per m}^3$) en bij een temperatuur van 21 °C bedraagt de dampdruk ongeveer $1,46 \cdot 10^{-5} \text{ bar} \approx 8300 \mu\text{g N per m}^3 \text{ lucht}$. Bij 15 °C daarentegen bedraagt de dampdruk $7,2 \cdot 10^{-6} \text{ bar} \approx 4200 \mu\text{g N per m}^3 \text{ lucht}$. De hoogste gemeten concentraties op het laagste punt van de centrale mast bedroegen in week 24 en week 26 respectievelijk 3854 en 2224 $\mu\text{g N per m}^3 \text{ lucht}$. Het effect van een hogere temperatuur is dus ook in de gemeten concen-

traties direct na toedienen aan te tonen.

Het resultaat van een hogere temperatuur is een hogere emissiesnelheid en een grotere totale emissie in week 26 (tabel 3).

Neerslag kan vooral de emissie bij bovengronds toedienen sterk beïnvloeden (zoals blijkt uit de resultaten bij bovengronds plus beregenen). De eerste dag na toedienen is er gedurende geen van de drie weken neerslag gevallen. De soms behoorlijke hoeveelheden die de dagen daarna genoteerd werden (bijlage 2) hebben nauwelijks invloed gehad op het emissie-resultaat, omdat op grasland kennelijk de eerste dag na uitrijden bepalend is voor het emissieniveau (pag. 13).

Indien inregening wordt toegepast is het zaak hier onmiddellijk tijdens of na het toedienen van de dunne mest mee te beginnen, hetgeen hier ook heeft plaatsgevonden. Verder is van belang de hoeveelheid water die wordt toegediend. In week 14 en 24 werd ongeveer 3 en in week 26 ongeveer 2,5 mm water toegediend. De hoeveelheid water die iedere keer is toegediend is dus vrijwel gelijk, echter de emissie is in week 26 duidelijk hoger. Dit verschil wordt overwegend veroorzaakt door de hogere temperaturen in week 26.

De conclusie is dan ook dat 3 mm beregening niet voldoende is om onder alle omstandigheden een emissiereductie van 70 procent te realiseren. Mest verdund (één deel mest en drie delen water) toedienen geeft een grotere emissiereductie dan mest oppervlakkig toedienen gevolgd door een beregening van 3 mm.

Bij verdunde mest zijn de verschillen in emissie tussen week 24 en week 26 klein in tegenstelling tot beregende dunne mest. Waarom hier geen weerseffect aanwezig is, is niet duidelijk.

Bij zodebemesting en zode-injectie is de emissie in week 26 ook sterk toegenomen ten opzichte van week 24. De toegediende hoeveelheden zijn voor deze weken vrijwel gelijk.

Twee factoren, infiltratie en temperatuur, kunnen van grote invloed zijn op de uiteindelijk gemeten emissie.

Door hogere temperaturen, en dus een grotere referentie-gewasverdamping, droogt de toegediende mest snel in. Hierdoor kan de dampdruk boven het mestoppervlak toenemen met als gevolg een hogere emissie in week 26.

Infiltratie van mestvocht in de bodem is van invloed op de NH_3 -emissie. Door infiltratie dringt NH_4^+ in de bodem dat daardoor minder makkelijk kan emitteren. De snelheid van infiltratie van mestvocht kan daarmee van grote invloed zijn op de te realiseren emissiereductie.

Gedurende het eerste half uur na toedienen bedroeg de emissie bij zodebemesting in week 26 en 24 respectievelijk ongeveer ééntiende en éénveertigste van die bij bovengronds aanwenden (bijlage 10), terwijl het emitterend oppervlak hooguit ééntiende is van dat bij oppervlakkig aanwenden. Het toplaagje

van de mest in een sleuf bij zodebemesting lijkt zich in week 26 dus net zo te gedragen als bovengronds toegediende mest. Kennelijk is de infiltratiesnelheid van mestvocht in week 26 langzamer dan in week 24, waardoor er mede ten gevolge van de hogere temperaturen meer ammoniak kan emitteren. Verder kan natuurlijk de vullingsgraad en de vorm van de sleuf van invloed zijn (zie verderop).

Bij aangezuurde mest is er een groot verschil in emissie tussen week 26 en week 24. De meest voor de hand liggende reden is een verschil in pH van de toegediende mesten. Uit bijlage 4 blijkt dat die niet verschilt. De temperatuur en de referentie-verdamping hebben een grote invloed op de NH_3 -emissie (vergelijking 4).

Door waterverdamping zal de zoutconcentratie van de aangezuurde mest die aan het gras kleeft sterk gaan toenemen. Stel dat daardoor de NH_4^+ concentratie oploopt tot 1 mol per liter. Bij een concentratie van 1 mol (NH_4^+) en bij een pH van 4,3 bedraagt de ammoniakdampdruk bij 30 °C $2,66 \cdot 10^{-7}$ bar $\approx$ 148 μg $\text{NH}_3\text{-N}$ per kubieke meter lucht en bij 10 °C $2,60 \cdot 10^{-8}$ bar $\approx$ 14,5 μg $\text{NH}_3\text{-N}$ per kubieke meter lucht. 20 graden temperatuurstijging geeft een vertienvoudiging van de dampdruk. Verder moet men bedenken dat op zonnige dagen de temperatuur dichtbij het aardoppervlak nog veel hoger kan zijn. Er zijn dus omstandigheden denkbaar dat de dampdruk en de daarbij behorende NH_4^+ -concentratie hoger is dan de achtergrondconcentratie die veelal tussen de 5 en 10 μg $\text{NH}_3\text{-N}$ per kubieke meter lucht ligt.

Uit figuur 3 en 4 en bijlage 10 blijkt dat de eerste dag na toedienen het grootste deel van de emissie optreedt. De hoogst gemeten $\text{NH}_3\text{-N}$ concentratie bij aanzuren bedroeg 126 μg per kubieke lucht op het laagste punt van de centrale mast. Er kan dus enige ammoniakemissie optreden uit aangezuurde mest, vooral bij hoge temperaturen.

De per object bereikte reductiepercentages in tabel 3 verschillen behoorlijk voor de drie meetcycli. Als in tabel 3 de reductiepercentages van week 24 en week 26 met elkaar vergeleken worden dan lijken door de warmere omstandigheden de te bereiken emissiereducties ten opzichte van bovengronds toedienen af te nemen. De gegevens van week 14 spreken dit echter gedeeltelijk tegen. De eerste meetdag in week 14 was duidelijk warmer dan die van week 24, terwijl het reductiepercentage alleen bij aanzuren en beregenen hoger is dan in week 24.

Voorzichtig geconcludeerd nemen de door andere toedieningstechnieken te bereiken emissiereducties ten opzichte van bovengronds toedienen bij hogere temperaturen af, vooral bij beregenen en aanzuren.

pH metingen

Uit de emissiemetingen van 1989 op zand- en kleigrasland kon geen duidelijk pH effect worden vastgesteld, hoewel de grondsoorten sterk in pH verschilden. In bijlage 5 zijn de na het toedienen van mest gemiddeld (acht waarnemingen) gemeten pH's van het grond/gewas/mest oppervlak weergegeven voor week 24 en week 26. Waarschijnlijk zit er echter een meetfout in de gegevens van week 24, omdat de gemeten pH van het aangezuurde object lager is dan die van de grond en van de aangezuurde mest zelf. De meetwaarden van week 24 worden daarom verder buiten beschouwing gelaten. De verschillen tussen de objecten in week 26 zijn niet groot. Alleen het object met aangezuurde mest heeft een duidelijk lagere pH, die echter wel hoger is dan die van de toegediende mest.

Voorzichtig geïnterpreteerd blijft het verschil in pH tussen aangezuurde mest en de overige mesten ook na toedienen in het veld nog gehandhaafd.

Grashoogtes

Op alle objecten zijn de grashoogtes gemeten vóór het toedienen van de mest. De grashoogte is van invloed op de hoeveelheid mest die aan het gras blijft kleven (en dus niet in contact kan komen met de grond) bij bovengrondse toediening. Verder is de grashoogte van invloed op het diffusietransport van van de bodem afkomstige ammoniak naar het grensvlak gras/lucht. Daarmee kan de grashoogte van invloed zijn op de ammoniakemissie. Het meest duidelijk komt dit naar voren bij de toepassing van de sleepslangenmachine (M. Bruins, mondelinge mededeling).

Uit bijlage 6 blijkt dat er op de objecten nauwelijks verschillen in grashoogte waren. De verschillen in emissie tussen de weken zijn dus niet direct toe te schrijven aan verschillen in grashoogte.

Vochtgehalte grond

Van de oppervlakkig toegediende mest blijft een deel aan het gewas kleven en een gedeelte komt in contact met de bodem. Mestvocht dat in aanraking komt met de grond kan op droge grond dieper infiltreren dan op vochtige grond, hetgeen betekent dat NH_3 moeilijker kan emitteren. Echter op droge grond is de concentratie NH_4^+ in de bodemoplossing wel hoger, hetgeen gunstig is voor een hoge NH_3 -emissie. Dit zijn dus twee min of meer tegengestelde effecten.

De infiltratie van mestvocht bij zodebemesting en zode-injectie wordt verder beïnvloed door de mate van versmering van de wand van de getrokken sleuf. De versmering hangt af van het vochtgehalte van de grond en de manier waarop de sleuf getrokken is. Het effect van versmering van de sleufwand is in deze proeven niet vastgesteld, omdat per meetcyclus slechts één object met zodebemesting of zode-injectie aanwezig was.

De absoluut hogere emissies in week 26 ten opzichte van week 24 kunnen naast een temperatuureffect dus niet zonder meer toegeschreven worden aan de verschillen in vochtgehalten van de grond in de betreffende weken (bijlage 7).

Vullingsgraad en vorm van de sleuf

Bij toepassing van zodebemesting zijn naast weersfactoren en vochtgehalte van de grond de vorm (breedte en diepte) en vullingsgraad van de sleuf van invloed op de emissie. De breedte en vullingsgraad van de sleuf bepalen het emitterend oppervlak.

Als er teveel mest wordt toegediend kan de sleuf overlopen. Hierdoor wordt de afvoer van NH_4^+ via ammoniak naar de lucht sterk verbeterd.

Uit tabel 2 blijkt dat er verschillen zijn in de toegediende hoeveelheden mest bij zodebemesting en zode-injectie. Op het oog zijn er echter geen duidelijke verschillen in vullingsgraad (dus geen overlopen van de sleuf) waargenomen bij zodebemesting en zode-injectie na toedienen in de drie meetweken. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door gering verschil in sleufdiepte en sleufgeometrie per object tijdens de drie meetweken.

De mogelijke omvang van de effecten van sleufgeometrie en vullingsgraad op de ammoniakemissie kan alleen in vergelijkende (kleinschalige) proeven aangetoond worden.

Foutenanalyse

Per meetobject is gedurende de drie meetcycli op de twee NMI-masten voor één hoogte een tweede bemonstering van de concentratie aan ammoniak in de luchtuitgevoerd. Deze duplo-metingen van de ammoniakconcentratie zijn statistisch bewerkt voor de weken 24 en 26 om de nauwkeurigheid van de metingen vast te stellen. Uit deze bewerking bleek dat de verschillen tussen de duplo-metingen onafhankelijk zijn van de hoogte waarop de duplo-bemonstering is uitgevoerd. Ook kon er geen statistisch verschil worden aangetoond tussen de variatiecoëfficiënten per meetobject. De gemiddelde variatiecoëfficiënt over alle objecten bedroeg 13,0 procent. Bij de bewerking zijn alleen duplo's meegenomen die op grond van de waarnemingen in het logboek vertrouwd konden worden. Ruwweg komt het erop neer dat duplo-waarnemingen niet zijn meegenomen in de statistische bewerking als de hoogste van de twee waarnemingen op een bepaalde hoogte 30 procent groter was dan de laagste.

In de formule voor de fluxberekening:

$$F = (1/x) \int_{z_0}^{z_p} \bar{u} \bar{c} dz = (1/x) \int_{z_0}^{z_p} \bar{u} (\bar{c}_{cm} - \bar{c}_{rm}) dz$$

$\bar{c}_{cm}$ is de concentratie op de centrale mast in $\mu g N/m^3$

$\bar{c}_{rm}$ is de concentratie op de randmast in $\mu g N/m^3$

komt zowel de concentratie gemeten met de randmast als met de centrale mast voor. Als de gemeten waarden voor de achtergrond en voor de centrale mast bij elkaar in de buurt liggen kan de uiteindelijke fout enorm toenemen.

De fout in de flux kan geschat worden via een 'Monte Carlo' analyse. In bijlage 8 is zo'n analyse uitgevoerd voor de eerste 9 tijdsintervallen van week 24 en 26 voor de NMI-meetobjecten. De resultaten van deze analyse geven voor week 24 voor oppervlakkig toedienen en verdunde mest een statistische fout van respectievelijk 5,3 en 7,2 procent. Voor week 26 voor verdunde mest en zodebemesting bedragen deze respectievelijk 5,5 en 10,7 procent.

Behalve fouten in de flux op basis van de gemeten duplo-concentraties zijn er foutenbronnen zoals de gemeten fetch, het gemeten windprofiel, de hoeveelheid en de verdeling van de mest over het oppervlak en de fout in de mestanalyses. De fetch bij een rond proefveld is constant. Door de wijze van uitrijden zijn de proefveldjes slechts bij benadering rond. De fetch is dus niet constant, maar afhankelijk van de windrichting over het veld. Hiermee is rekening gehouden bij de bepaling van de fetch per periode van wasfleswisseling. Verder is de grens tussen wel en niet bemest niet scherp. De toedieningsmachine geeft bij het begin en het einde van een uitrijstroom niet de volle hoeveelheid af. De maximale fout

in de fetch wordt geschat op 2,0 meter. Dit komt ongeveer overeen met een fout van 10 procent in de berekende ammoniakemissie.

De fout in de toegediende hoeveelheid is geschat op maximaal 5 procent.

De fout in de analyseresultaten (bijlage 4) bedraagt minder dan 5 procent.

De fout in het gemeten windprofiel is klein. Theoretisch neemt over een uniform oppervlak de windsnelheid logaritmisch toe met de hoogte. De bij deze proeven bepaalde logaritmische windprofielen gaven veelal een regressiecoëfficiënt van 0,95 of hoger te zien. Een stabiliteitscorrectie van het windprofiel is achterwege gelaten, daar een berekening voor een aantal dagen toonde dat deze minder 10 procent afwijking vertoonde.

De totale fout kan bepaald worden door de wortel te nemen van het kwadraat van de afzonderlijke foutenbronnen. Dit levert een statistische fout op van minimaal 17 procent bij oppervlakkig en bij verdund toedienen in week 24 en een fout van minimaal 17 en 19 procent bij respectievelijk toedienen van verdunde mest en zodebemesting in week 24.

Vergelijking met de resultaten van 1989

De bereikte percentages emissiereductie met betrekking tot verdunde mest en zodebemesting komen goed overeen met die van 1989, namelijk respectievelijk 27 tot 55 procent en 9 tot 16 procent. De resultaten van zode-injectie zijn vergelijkbaar met die van injectie in 1989, namelijk minder dan 2 procent. De resultaten met betrekking tot beregenen zijn niet direct vergelijkbaar. In 1989 werd met een haspelinstallatie beregend, waardoor het ongeveer 20 minuten duurde voordat het hele veld was beregend. In 1990 is gebruik gemaakt van een slangeninstallatie, waardoor direct na toedienen het hele veld werd beregend. De hoeveelheid water die werd toegediend was in 1989 echter wel duidelijk hoger dan in 1990. Uit de experimenten van beide jaren blijkt nog eens dat onmiddellijk na toedienen begonnen moet worden met beregenen en dat er meer dan 3 mm water moet worden toegediend (bijvoorbeeld 10 meer).

Het oppervlakkig toedienen van aangezuurde mest was in 1989 niet als object aanwezig.

REFERENTIES

Bruins M. (1991). Mondelinge mededeling

Bruins M. (1991). Ammoniakemissie bij verschillende toedieningsmethoden aan zandgrasland (in druk).

Bussink DW, Klarenbeek JV, Huijsmans JFM & Bruins M (1990). Ammoniakemissie bij verschillende toedieningsmethoden van dunne mest aan grasland. NMI-Verslag A 89.086.

Freney JR, Simpson JR & Denmead OT (1983). Volatilization of ammonia. In: Freney JR & Simpson JR (eds). Gaseous losses from plant-soil systems, p. 1-32. Martinus Nijhoff, The Hague.

BIJLAGE 1. Resultaten grondonderzoek

Resultaten van het grondonderzoek per meetobject in de laag van 0 tot 5 cm in week 26.

monster	pH-water	pH-KCl	P-Al
CM1	5,0	4,5	47
CM2	5,1	4,5	55
CM3	5,3	4,8	51
CM4	5,3	4,5	35
CM5	5,6	4,8	37
CM6	5,9	5,4	46

BIJLAGE 2. Weergegevens van KNMI-stations.

De weergegevens van week 14 voor Lutteberg ontbreken. Daarom zijn in de onderstaande tabel de weergegevens van Eelde en Heino genomen voor de vergelijking van de weersomstandigheden tijdens week 14, 24 en 26.

De maximum- en minimumtemperatuur, neerslag en gemiddelde relatieve vochtigheid.

	Tmax. ¹ °C	Tmin. ¹ °C	neer- ² slag mm	gem. re- ¹ latieve vochtig- heid
<u>week 14</u>				
1 april*	20,2	4,5	0	77
2 april	20,3	5,2	0	69
3 april	10,1	0,9	1,2	81
4 april	7,2	-1,7	2,0	81
5 april	7,7	-3,0	1,8	83
6 april	10,5	-3,8	0,1	69
7 april	12,0	-0,9	0	70
<u>week 24</u>				
10 juni	15,1	11,1	0	90
11 juni	13,6	10,6	0	91
12 juni*	13,8	8,7	0	88
13 juni	15,9	8,6	0	85
14 juni	15,0	10,0	0	82
15 juni	14,6	10,2	0	81
16 juni	15,5	7,4	0	81
<u>week 26</u>				
24 juni	21,2	9,4	2,1	78
25 juni	18,8	13,7	0	97
26 juni*	25,3	13,0	0	85
27 juni	24,7	15,9	18,2	90
28 juni	20,4	9,2	6,2	86
29 juni	22,3	7,6	0	76
30 juni	24,5	13,2	0	88

start emissiemetingen

1 gegevens van het KNMI station Eelde

2 gegevens van het KNMI station Heino

BIJLAGE 3. Berekening windprofiel voor week 14.

Van week 14 zijn er wel concentratieprofielen bekend maar geen windgegevens. Om deze concentratieprofielen toch nog te kunnen vertalen naar een emissie worden de windprofielen geschat met behulp van de gegevens van het meteostation op de vliegbasis Twenthe. In het navolgende wordt dit beschreven. Uit figuur 4.6 van de Windatlas van Nederland blijkt dat de de mesoruwheidsklasse (0,36-0,70 m) van Lutteberg en de vliegbasis Twenthe met elkaar overeenkomen. Ook de gemiddelde potentiële windsnelheid op 10 m bij een z_0 van 0,03 m voor de maanden maart en april ligt voor deze twee plaatsen in dezelfde klasse (4,0-4,5 m/s). De windgegevens van Twenthe kunnen dus goed gebruikt worden om het windprofiel voor Lutteberg te bepalen. Een visuele beoordeling van de meetlokatie te Lutteberg leert dat ruwheidshoogte ongeveer overeenkomt met de gewijzigde Davenport klasse 'ruwweg open', hetgeen een z_0 van ongeveer 0,1 m betekent (Bij noordenwind is zelfs ruwheidsklasse 3 (0,03 m) van toepassing). Indien de meetlokatie op de vliegbasis Twenthe qua ruwheidshoogte overeenkomt met die van de meetlokatie in Lutteberg dan kan het windsnelheidsprofiel voor de lokatie Lutteberg op een eenvoudige manier worden afgeleid uit de windgegevens van de vliegbasis Twenthe. Er wordt aangenomen dat deze veronderstelling juist is.

De volgende formule kan dan worden toegepast:

$$U = U^* [\ln(z/z_0) - \psi] / \kappa. \quad (1)$$

U - de windsnelheid op hoogte z

U^* - de wrijvingssnelheid

z_0 - de ruwheidshoogte

ψ - een stabiliteitsafhankelijke correctie functie

κ - de Kármán constante (in lucht bedraagt die 0,4)

ψ kan worden verwaarloosd indien de windsnelheid op 10 m hoogte meer dan 6 meter bedraagt. Op 2 en 3 april werd meestal aan deze randvoorwaarde voldaan. Met formule (1) kan U^* bepaald worden daar z , z_0 , κ en de windsnelheid op 10 meter hoogte bekend zijn.

BIJLAGE 4. De gemiddelde samenstelling van de gebruikte mest in de 1°, 2° en 3° meetperiode.

	NH ₄ -N in mg/l			NK ₂ in mg/l			ds %	pH
	1°	2°	3°	1°	2°	3°		
<u>week 14</u>								
oppervlakkig	2350	2290		4400	4350		8,48	7,2
oppervlakkig + inregenen	2350	2290		4400	4350		8,48	7,2
oppervlakkig verdund	660	650	650	1210	1330	1270	1,44	7,5
zodebemester	2360	2370		4280	4800		8,47	7,2
zode-injectie	2260	2290		4410	4230	8,30	7,3	
aanzuren	2200	2040	1940	9400	9700	9600	12,4	4,7
<u>week 24</u>								
oppervlakkig	2290	2360	2290	4530	4420	4520	8,27	7,2
oppervlakkig + inregenen	2240	2370	2360	4550	4850	4610	8,36	7,3
oppervlakkig verdund	600	590	630	1100	1100	1050	1,62	7,2
zodebemester	2250	2340	2330	4700	4740	4580	8,30	7,3
zode-injectie	2340	2360	2300	4440	4440	4680	8,31	7,3
aanzuren	1690	1670	1630	7660	7700	7790	9,65	4,3
<u>week 26</u>								
oppervlakkig	2330	2330	2280	4480	4360	4420	8,34	7,4
oppervlakkig + inregenen	2340	2300	2350	4460	4600	4460	8,15	7,4
oppervlakkig verdund	615	610	600	1180	1170	1100	1,71	7,6
zodebemester	2430	2260	2400	4500	4540	4580	8,19	7,4
zode-injectie	2390	2400	2300	4670	4620	4580	8,23	7,4
aanzuren	1740	1710	1660	7540	7230	7550	8,76	4,3

BIJLAGE 5. De gemiddelde pH (8 metingen) per object van het gras/mest/grondoppervlak en de variatiecoëfficiënt in week 24 en week 26.

	week 24		week 26	
	gem	v.c.	gem	v.c.
oppervlakkig	6,02	22,2	7,24	6,7
oppervlakkig + inregenen	6,92	11,0	7,27	9,3
oppervlakkig verdund	5,74	10,5	7,38	9,2
zodebemester	7,10	8,8	7,83	7,9
zode-injectie	6,32	13,8	6,94	7,3
aanzuren	2,90	26,2	6,00	14,3

BIJLAGE 6. De gemiddeld gemeten grashoogte in cm (10 tot 20 metingen) per object en de variatiecoëfficiënt in week 14, 24 en 26.

	week 14		week 24		week 26	
	gem	v.c.	gem	v.c.	gem	v.c.
oppervlakkig	6,4	12,4	7,8	8,1	7,8	11,6
oppervlakkig + inregenen	7,2	19,7	7,9	17,1	8,4	15,9
oppervlakkig verdund	6,7	14,7	8,4	11,6	9,1	10,0
zodebemester	8,0	12,2	7,9	14,6	7,7	15,1
zode-injectie	8,3	11,5	8,1	11,0	9,3	9,7
aanzuren	8,2	12,4	7,3	10,9	8,9	12,0

BIJLAGE 7. Het gemiddelde vochtgehalte van de grond in g per kg droge grond in week 14, 24 en 26.

	week 14	week 24	week 26
oppervlakkig	243	323	228
oppervlakkig + inregenen	295	251	217
oppervlakkig verdund	260	332	191
zodebemester	320	297	258
zode-injectie	381	255	278
aanzuren	417	351	271

BIJLAGE 8. Een Monte Carlo analyse voor de NMI-meetobjecten.

Voor alle 5 toedieningstechnieken zijn de variatiecoëfficiënten van de duplo-concentraties (tabel 6) en de variatiecoëfficiënten van de logaritme van de duplo-concentraties bepaald. De laatste

TABEL B 8.1. De variatiecoëfficiënt (vc) en de log van de variatiecoëfficiënt (lvc) van de ammoniakconcentratie gebaseerd op de duplobepalingen van de twee NMI-meetobjecten in week 14, 24 en 26 plus het aantal waarnemingen (waarn.), het aantal ontbrekende waarden, het niveau en de standaardfout van de verschillen (sed).

vc.	lvc.	waarn.	miss.	niveau $\mu\text{gn}/\text{m}^3$	sed
13	2,8	80	6	78,8	2,28

zijn gebruikt in de 'Monte Carlo' analyse. Met behulp van een randomgenerator worden uit een bestaande dataset van logaritmisch getransformeerde (lt.) ammoniakconcentraties 100 nieuwe datasets gegenereerd. De gegenereerde nieuwe lt. concentraties liggen normaal verdeeld om de lt. gemeten concentraties, waarbij de variantie van de normale verdeling bepaald wordt door lvc. Deze lt. getransformeerde datasets worden weer teruggetransformeerd naar concentraties. Met deze aldus ontstane datasets kunnen 100 nieuwe emissiewaarden berekend worden, waarmee een verdeling vastgesteld kan worden. Er kan een betrouwbaarheidsinterval om het gemiddelde van deze 100 waarden berekend worden, mits de verdeling normaal is. In bijlage 9 zijn een aantal verdelingen weergegeven voor verdund en oppervlakkig. Uit de figuren volgt dat de veronderstelling van een normale verdeling gerechtvaardigd is als de gemeten flux hoog is. Indien lage fluxen gemeten worden is de verdeling niet meer normaal, zoals tijdens de zevende meetperiode bij oppervlakkig toedienen het geval was. In feite betekent dit dat de massabalansmethode minder geschikt is om hele lage fluxen te meten. Immers de gemiddelde gesimuleerde flux moet overeenstemmen met de flux op basis van de werkelijke meetwaarden.

In tabel B 8.2 is de Monte Carlo analyse uitgevoerd voor de eerste 9 tijdsintervallen van de NMI-meetobjecten in week 24 en week 26. In de tabel is het 95% (betrouwbaarheids)interval weergegeven. Dit interval wordt hier de gesimuleerde fout genoemd. De gesimuleerde emissies zijn weergegeven in kg N per ha per tijdsinterval. De totale fout over de gehele meetperiode in de gemeten flux voor week 24 bedraagt respectievelijk 14,2 en 17,2 procent voor oppervlakkig toedienen en verdunde mest. Voor week 26 bedraagt deze respectievelijk 15,2 en 24,5 procent voor verdunde mest en zodebemesting. Indien de gesimuleerde fouten gebaseerd zijn op een normale verdeling dan kan er een statistische fout worden uitgere-

Vervolg BIJLAGE 8

kend. De statistische fouten voor week 24 voor oppervlakkig toedienen en verdunde mest bedragen respectievelijk 0,409 (5,3%) en 0,226 (7,2%) kgN/ha. voor week 26 bedragen deze respectievelijk 0,194 (5,5%) en 0,613 (10,7%) kgN/ha voor verdunde mest en zodebemesting.

TABEL B 8.2. De gesimuleerde gemiddelde (gem.) ammoniakemissie in kg N per ha per tijdsinterval (interval.) en de daarbij behorende absolute fout gebaseerd op de helft van het 95 procenten betrouwbaarheidsinterval voor de NMI-meetobjecten van week 24 en week 26.

interval.	week 24				week 26			
	oppervlakkig		verdund		verdund		zodebemesting	
	gem.	fout	gem.	fout	gem.	fout	gem.	fout
1	1,136	0,064	0,610	0,055	1,482	0,098	0,320	0,042
2	2,180	0,113	0,574	0,079	0,923	0,074	0,691	0,079
3	1,225	0,069	0,218	0,016	0,420	0,045	1,054	0,092
4	1,225	0,109	0,876	0,088	0,237	0,050	1,391	0,112
5	0,778	0,068	0,318	0,004	0,148	0,074	1,805	0,305
6	0,357	0,254	0,068	0,054	0,227	0,096	0,155	0,063
7	0,645	0,198	0,314	0,167	0,024	0,046	0,271	0,302
8	0,110	0,098	0,074	0,046	0,036	0,020	0,027	0,398
9	0,062	0,126	0,067	0,027	0,008	0,031	0,003	0,008
totaal	7,719	1,099	3,118	0,537	3,506	0,533	5,717	1,400
se		0,409		0,226		0,194		0,613
gemeten		5,300		7,248		5,538		10,722
emissie	7,771		2,980		3,346		5,516	

BIJLAGE 9. De verdeling van de 100 gesimuleerde fluxen voor 6 tijdsintervallen van week 24 en week 26.

derde tijdinterval bij oppervlakkig toedienen van verdunde mest

- 3.20	1 *
3.20 - 3.28	0
3.28 - 3.36	7 *****
3.36 - 3.44	14 *****
3.44 - 3.52	19 *****
3.52 - 3.60	22 *****
3.60 - 3.68	16 *****
3.68 - 3.76	16 *****
3.76 - 3.84	3 ***
3.84 -	2 **

De gemiddelde flux van de 100 gesimuleerde fluxen is 3,558 kgN/(ha.etmaal).
De flux op grond van de werkelijke waarden bedraagt 3,558 kgN/(ha.etmaal).

vierde tijdinterval bij oppervlakkig toedienen van verdunde mest

- 6.4	3 ***
6.4 - 6.6	2 **
6.6 - 6.8	5 *****
6.8 - 7.0	16 *****
7.0 - 7.2	25 *****
7.2 - 7.4	22 *****
7.4 - 7.6	16 *****
7.6 - 7.8	3 ***
7.8 - 8.0	6 *****
8.0 -	2 **

De gemiddelde flux van de 100 gesimuleerde fluxen is 7,203 kgN/(ha.etmaal).
De flux op grond van de werkelijke waarden bedraagt 7,237 kgN/(ha.etmaal).

vijfde tijdinterval bij oppervlakkig toedienen van verdunde mest

- 2.3	2 **
2.3 - 2.4	0
2.4 - 2.5	4 *****
2.5 - 2.6	11 *****
2.6 - 2.7	19 *****
2.7 - 2.8	26 *****
2.8 - 2.9	24 *****
2.9 - 3.0	12 *****
3.0 - 3.1	2 **
3.1 -	0

De gemiddelde flux van de 100 gesimuleerde fluxen is 2,739 kgN/(ha.etmaal).
De flux op grond van de werkelijke waarden bedraagt 2,77 kgN/(ha.etmaal).

Vervolg BIJLAGE 9.

week 26

eerste tijdinterval bij oppervlakkig toedienen van verdunde mest

```

- 65 7 *****
65 - 66 10 *****
66 - 67 7 *****
67 - 68 23 *****
68 - 69 17 *****
69 - 70 13 *****
70 - 71 9 *****
71 - 72 8 *****
72 - 73 3 ***
73 - 3 ***

```

De gemiddelde flux van de 100 gesimuleerde fluxen is 68,35 kgN/(ha.etmaal).

De flux op grond van de werkelijke waarden bedraagt 67,84 kgN/(ha.etmaal).

tweede tijdinterval bij oppervlakkig toedienen van verdunde mest

```

- 19.0 1 *
19.0 - 19.5 1 *
19.5 - 20.0 5 *****
20.0 - 20.5 18 *****
20.5 - 21.0 25 *****
21.0 - 21.5 19 *****
21.5 - 22.0 13 *****
22.0 - 22.5 12 *****
22.5 - 23.0 6 *****
23.0 - 0

```

De gemiddelde flux van de 100 gesimuleerde fluxen is 21,10 kgN/(ha.etmaal).

De flux op grond van de werkelijke waarden bedraagt 20,98 kgN/(ha.etmaal).

zevende tijdinterval bij oppervlakkig toedienen van verdunde mest

```

- 0.008 2 **
0.008 - 0.016 6 *****
0.016 - 0.024 2 **
0.024 - 0.032 2 **
0.032 - 0.040 0
0.040 - 0.048 1 *
0.048 - 0.056 0
0.056 - 0.064 1 *
0.064 - 0.072 0
0.072 - 1 *

```

Missing values: 85

Van de 100 simulaties leverden er 15 een positieve flux en 85 geen of een negatieve flux.

De gemiddelde flux van de 100 gesimuleerde fluxen is 0,02337 kgN/(ha.etmaal).

De flux op grond van de werkelijke waarden bedraagt 0 kgN/(ha.etmaal).

BIJLAGE 10. De basisresultaten van de emissieberekeningen.

De basisresultaten van de emissieberekeningen voor week 24.

object en periode	r ² wind- profiel	NH ₃ -N emissie per periode (kg)	NH ₃ -N. emissie per etmaal (kg)	NH ₃ -N emissie µg/s/ha	zp in m	z0 in m	tijd tussen wisse- lingen in uren	foutieve of ontbrekende waarden cm rm	cumulatieve NH ₃ -N emissie na toe- dienen (dagen)	NH ₃ -N als % van de aanwezige NH ₄ ⁺ -N	
24zaan01	95,4	0,0096	0,5769	6,6770	0,99	0,019	0,40	2 0	0,0096	0,017	0,07
24zaan02	94,9	0,0000					1,12	0 0	0,0096	0,063	0,07
24zaan03	96,3	0,0032	0,3413	0,6265	0,55	0,034	1,43	3 1	0,0128	0,123	0,09
24zaan04	98	0,0027	0,0214	0,2480	0,36	0,019	3,00	0 1	0,0155	0,248	0,11
24zaan05	99,1	0,0037	0,0282	0,3263	0,30	0,024	3,15	0 1	0,0192	0,379	0,13
24zaan06	100	0,0000					11,58	0 0	0,0192	0,862	0,13
24zaan07	99,3	0,0123	0,0119	0,1374	0,43	0,037	24,90	2 2	0,0316	1,899	0,22
24zaan08	99	0,0001	0,0001	0,0009	0,09	0,040	24,00	0 0	0,0316	2,899	0,22
24zaan09	99	0,0000					23,67	0 0	0,0316	3,885	0,22
24zber01	94,8	0,0590	3,1510	36,47	1,99	0,023	0,45	1 1	0,0590	0,019	0,33
24zber02	96,1	0,2040	4,5820	53,03	2,00	0,019	1,07	1 1	0,2630	0,063	1,45
24zber03	95,9	0,1210	2,0040	23,19	3,29	0,025	1,45	0 0	0,3840	0,124	2,12
24zber04	96,6	0,1350	1,0660	12,34	2,84	0,024	3,03	0 1	0,5190	0,250	2,86
24zber05	99	0,1960	1,3890	16,08	2,10	0,022	3,38	1 0	0,7150	0,391	3,95
24zber06	100	0,0147	0,0310	0,3585	0,54	0,096	11,42	1 0	0,7297	0,867	4,03
24zber07	99,3	0,0000					25,00	0 0	0,7297	1,908	4,03
24zber08	99	0,0000					24,03	1 0	0,7297	2,910	4,03
24zber09	99,3	0,0000					23,72	1 0	0,7297	3,898	4,03
24zinj01	96,5	0,0470	2,3500	27,20	4,18	0,021	0,48	1 0	0,0470	0,020	0,09
24zinj02	94,8	0,0550	1,1680	13,52	3,02	0,017	1,13	2 0	0,1020	0,067	0,20
24zinj03	96,2	0,0680	1,0910	12,63	3,24	0,032	1,50	1 1	0,1700	0,130	0,33
24zinj04	97,6	0,1670	1,3600	15,74	2,02	0,020	2,95	0 0	0,3370	0,253	0,66
24zinj05	99,1	0,0246	0,1851	2,143	0,52	0,023	3,18	0 0	0,3616	0,385	0,71
24zinj06	100	0,0719	0,1470	1,702	1,73	0,096	11,73	0 0	0,4335	0,874	0,85
24zinj07	99,3	0,1438	0,1381	1,599	0,79	0,036	24,98	1 1	0,5773	1,915	1,13
24zinj08	99	0,0000					24,01	1 0	0,5773	2,915	1,13
24zinj09	99,3	0,0000					23,30	0 0	0,5773	3,886	1,13
24zopp01	94,8	1,1300	60,320	698,1	4,12	0,023	0,45	2 2	1,1300	0,019	4,93
24zopp02	96,1	2,0600	46,220	535,0	4,24	0,019	1,07	1 2	3,1900	0,063	13,92
24zopp03	95,9	1,2100	19,600	226,8	3,80	0,025	1,80	0 0	4,4000	0,138	19,20
24zopp04	97,1	1,2710	9,9790	115,5	3,54	0,023	3,05	0 0	5,6710	0,265	24,74
24zopp05	99	0,7800	5,7910	67,02	2,29	0,022	3,23	1 0	6,4510	0,400	28,15
24zopp06	100	0,4303	0,8904	10,31	4,31	0,094	11,60	0 2	6,8813	0,883	30,02
24zopp07	99,3	0,6342	0,6105	7,066	1,86	0,036	24,93	1 1	7,5155	1,922	32,79
24zopp08	99	0,1307	0,1312	1,519	0,97	0,040	23,90	1 0	7,6462	2,918	33,36
24zopp09	99,3	0,1251	0,1249	1,445	1,87	0,064	24,05	1 0	7,7713	3,920	33,91
24zver01	95,2	0,6100	15,430	178,6	5,50	0,014	0,95	0 0	0,6100	0,040	2,57
24zver02	95,6	0,5700	12,300	142,4	4,58	0,023	1,12	0 0	1,1800	0,086	4,98
24zver03	95,2	0,2150	3,5580	41,18	3,44	0,038	1,45	0 0	1,3950	0,147	5,89
24zver04	98,3	0,8800	7,2370	83,76	3,12	0,018	2,92	1 2	2,2750	0,268	9,60
24zver05	99,2	0,3260	2,7700	31,20	2,50	0,026	2,83	0 2	2,6010	0,386	10,98
24zver06	100	0,0626	0,1380	1,597	1,24	0,106	10,88	1 1	2,6636	0,840	11,24
24zver07	99,3	0,3165	0,3029	3,505	2,61	0,036	25,08	0 0	2,9801	1,885	12,58
24zver08	99	0,0000					24,00	0 0	2,9801	2,885	12,58
24zver09	96,7	0,0000					24,08	0 0	2,9801	3,888	12,58
24zzod01	96,1	0,0450	1,6070	18,60	1,39	0,018	0,67	3 0	0,0450	0,028	0,09
24zzod02	95,4	0,0650	1,5710	18,18	2,50	0,018	1,00	0 0	0,1100	0,070	0,21
24zzod03	95,9	0,0596	0,9554	11,06	2,47	0,026	1,50	1 0	0,1696	0,132	0,33
24zzod04	97,4	0,2480	2,0160	23,23	3,51	0,022	2,95	1 0	0,4176	0,255	0,81
24zzod05	99,1	0,2320	1,8350	21,24	2,78	0,022	3,03	0 0	0,6496	0,381	1,27
24zzod06	100	0,2661	0,5644	6,532	2,47	0,094	11,32	1 1	0,9157	0,853	1,79
24zzod07	99,3	0,7194	0,6888	7,972	2,61	0,037	25,07	0 0	1,6351	1,898	3,19
24zzod08	99	0,3494	0,3489	4,038	1,97	0,040	24,03	0 0	1,9845	2,899	3,87
24zzod09	99,3	0,0345	0,0342	0,396	0,54	0,064	24,23	0 0	2,0190	3,908	3,94

Vervolg BIJLAGE 10.

De basisresultaten van de emissieberekeningen voor week 26.

object en periode	r ² wind- profiel	NH ₃ -N emissie per periode (kg)	NH ₃ -N. emissie per etmaal (kg)	NH ₃ -N emissie µg/s/ha	zp in m	z0 in m	tijd tussen wisse- lingen in uren	foutieve of ontbrekende waarden cm	cm	cumulatieve NH ₃ -N emissie na toe- dienen (dagen)	NH ₃ -N als % van de aanwezige NH ₄ ⁺ -N
26zaan01	98,5	0,0000					0,47	0	0	0,0000	0,00
26zaan02	98,5	0,0397	0,8693	10,06	1,54	0,014	1,07	1	0	0,0397	0,064
26zaan03	98,2	0,0850	1,3690	15,84	0,99	0,015	1,50	0	1	0,1247	0,127
26zaan04	97,4	0,3110	2,3850	27,60	3,42	0,013	3,13	0	0	0,4357	0,257
26zaan05	98,4	0,4881	2,8230	32,67	3,77	0,029	4,15	0	1	0,9238	0,430
26zaan06	99,6	0,0966	0,1962	2,2710	0,82	0,039	11,82	0	1	1,0204	0,923
26zaan07	98,8	0,0000					24,85	1	2	1,0204	1,958
26zaan08	99,1	0,0000					23,90	2	1	1,0204	2,954
26zaan09	99,3	0,0000					24,02	2	1	1,0204	3,955
26zber01	98,8	1,9800	81,600	944,5	3,81	0,017	0,58	2	1	1,9800	0,024
26zber02	98,4	0,9400	21,780	252,1	3,75	0,016	1,03	0	0	2,9200	0,067
26zber03	98,1	0,3880	6,6410	76,86	3,42	0,014	1,40	1	1	3,3080	0,125
26zber04	97,9	0,3270	2,6810	31,03	3,33	0,014	2,93	0	1	3,6350	0,248
26zber05	98,2	0,1591	0,9091	10,52	2,70	0,022	4,20	1	0	3,7941	0,423
26zber06	99,5	0,2707	0,5377	6,223	1,03	0,039	12,08	1	2	4,0648	0,926
26zber07	98,8	0,0000					24,98	1	1	4,0648	1,967
26zber08	99,1	0,0000					23,92	2	1	4,0648	2,963
26zber09	99,3	0,0000					23,77	0	0	4,0648	3,954
26zinj01	98,8	0,1850	8,9180	103,2	4,76	0,016	0,50	1	0	0,1850	0,021
26zinj02	98,3	0,3290	7,4070	85,73	4,64	0,015	1,07	1	0	0,5140	0,065
26zinj03	98,1	0,2720	4,5010	52,10	3,51	0,005	1,45	0	0	0,7860	0,126
26zinj04	97,1	0,3720	2,4370	28,21	3,18	0,011	3,22	2	0	1,1580	0,260
26zinj05	98,3	0,1903	1,2020	13,91	1,82	0,021	3,80	0	0	1,3483	0,418
26zinj06	99,5	0,0426	0,0837	0,969	0,92	0,039	12,22	2	0	1,3909	0,928
26zinj07	98,8	0,1655	0,1583	1,832	0,72	0,030	25,10	2	1	1,5564	1,973
26zinj08	99,1	0,0000					23,85	2	0	1,5564	2,967
26zinj09	99,4	0,0000					24,02	0	0	1,5564	3,968
26zopp01	98,6	3,9000	152,70	1767,4	4,20	0,017	0,62	0	0	3,9000	0,026
26zopp02	98,5	3,2600	78,340	906,7	3,51	0,016	1,00	0	0	7,1600	0,068
26zopp03	98,2	1,7900	28,220	326,7	3,65	0,014	1,52	0	0	8,9500	0,131
26zopp04	97,7	1,4600	11,800	136,5	4,61	0,014	2,98	0	0	10,4100	0,255
26zopp05	98,2	0,5100	3,2930	38,12	3,01	0,021	3,72	1	0	10,9200	0,410
26zopp06	99,5	0,4769	0,9511	11,01	2,81	0,039	12,03	1	1	11,3969	0,911
26zopp07	98,8	0,2225	0,2123	2,457	2,59	0,031	25,15	1	0	11,6194	1,959
26zopp08	99,1	0,0000					24,17	0	0	11,6194	2,966
26zopp09	99,3	0,0000					24,32	0	0	11,6194	3,979
26zver01	98,5	1,4600	67,840	781,2	4,05	0,016	0,52	0	0	1,4600	0,022
26zver02	98,3	0,9100	20,980	242,8	2,92	0,014	1,05	1	0	2,3700	0,065
26zver03	97,8	0,4170	6,7520	78,15	2,46	0,014	1,48	1	1	2,7870	0,127
26zver04	97,3	0,2350	1,8950	21,93	2,78	0,014	2,98	0	0	3,0220	0,251
26zver05	98,6	0,1730	1,3150	15,22	2,82	0,027	3,17	1	0	3,1950	0,383
26zver06	99,5	0,1509	0,2984	3,454	1,76	0,039	12,13	0	1	3,3459	0,889
26zver07	98,8	0,0000					25,02	0	0	3,3459	1,931
26zver08	99	0,0000					24,23	0	0	3,3459	2,941
26zver09	99,3	0,0000					23,90	0	0	3,3459	3,937
26zzod01	98,6	0,3200	14,3500	166,1	2,72	0,017	0,53	2	0	0,3200	0,022
26zzod02	98,5	0,7000	16,0100	185,3	3,78	0,016	1,05	0	0	1,0200	0,066
26zzod03	98,2	1,0500	17,0300	197,2	4,15	0,014	1,47	0	0	2,0700	0,127
26zzod04	97,6	1,3800	10,6500	123,2	3,33	0,132	3,12	0	1	3,4500	0,257
26zzod05	98,4	1,5560	8,5190	98,60	4,42	0,026	4,38	1	1	5,0060	0,440
26zzod06	99,6	0,2236	0,4612	5,338	1,18	0,039	11,63	2	2	5,2296	0,924
26zzod07	98,8	0,2762	0,2652	3,060	1,31	0,031	25,00	2	0	5,5058	1,966
26zzod08	99,1	0,0101	0,0101	0,117	0,37	0,037	23,90	0	0	5,5159	2,962
26zzod09	99,3	0,0000					24,32	1	2	5,5159	3,975

