

Rapportage emissiemetingen ammoniak Slootsmidbemester

A. Hensen (**ECN**)
W.C.M. van den Bulk (**ECN**)
B.F. van Egmond (**ECN**)
D. van Dinther (**ECN**)
K.F.A. Frumau (**ECN**)
J. Deru (**Louis Bolk Instituut**)
J. Pijlman (**Louis Bolk Instituut**)
C. Flechard (**INRA**)
M. Bell (**INRA**)
A. Neftel (**NRE**)

December 2016
ECN-X--16-162



Verantwoording

Er zijn drie meetcampagnes uitgevoerd in opdracht van Slootsmid Mesttechniek B.V.. Korenbree 40a, 7271 LH BORCULO onder ECN-projectnummer 5.2852 in het kader van het SBIR-programma met referentie Triple Spray SBIR14M002.

De metingen voor het 'Dronten-1' experiment zijn mede mogelijk gemaakt door de inzet van onze partners:

- INRA Frankrijk: Dank aan Chris Flechard en Michael Bell voor het uitvoeren van de mobiele metingen, het analyseren van die gegevens en het optreden als medeauteur, Dank aan Benjamin Loubet, Baptiste Esnault voor het beschikbaar stellen en analyseren van de alfa samplers.
- BFH Bern: Dank aan Christof Hani & Thomas Kupper voor het beschikbaar stellen van onderdelen Vanuit Zwitserland hebben we onderdelen en evaluatiesoftware. Een belangrijke bijdrage aan de interpretatie werd geleverd door Albrecht Neftel.
- RIVM: Dank aan het RIVM-team, met name Marty Haaema en Stijn Berkhout voor hun werk aan de Mini DOAS en Lidar;
- Envicontrol en Los Gatos: Johan van Lieverlooy bedanken we voor het beschikbaar stellen van een portable NH₃-monitor.
- Picarro: Dank aan Rob Peters voor het beschikbaar stellen van een Picarro NH₃-monitor.
- Aerodyne: Mark Zahniser bedanken we voor het beschikbaar stellen van reserve-onderdelen voor de ECN QCL.

De experimenten waren niet mogelijk geweest zonder: de hulp van Henk Eggink en Dick Koerselman (Slootsmid), Herman Zonderland (VVB Flevoland) en Gerrit van den Pol (Bedrijfsleider Dronten Locatie)

'Dronten-1' partners:



“Hoewel de informatie in dit rapport afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan ECN geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in het rapport en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn ECN, zijn bestuurders, directeurs en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders.”

Inhoudsopgave

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
2	Methode en instrumenten	9
2.1	Meetmasten	9
2.2	IHF-methode	11
2.3	Mobiele metingen	13
2.4	Tracer release en modelberekening	15
3	Experiment 1: Dronten	17
3.1	Mestaanwending	18
3.2	Emissieberekeningen	20
3.3	Resultaat	22
4	Experiment 2: Dronten-2	24
4.1	Mestaanwending	25
4.2	Emissieberekeningen	27
4.3	Resultaten	29
5	Experiment 3: Zwolle	31
5.1	Mestaanwending	32
5.2	Resultaten	33
6	Discussie en conclusie	35
7	Referenties	37
Bijlagen		
A.	Technische- en achtergrondgegevens van de veldproeven ammoniakemissie	38

Samenvatting

Er zijn drie veldexperimenten uitgevoerd waarbij de ammoniakemissie van het bemestingssysteem van Slootsmid is vergeleken met die van een zodenbemester als referentie. Bij alle experimenten zijn mestplotjes met een straal van 20 meter gebruikt. In het eerste experiment, 'Dronten-1', werden emissiemetingen op twee verschillende manieren uitgevoerd. De standaard IHF-methode (conform de eisen van het VERA protocol) werd gebruikt waarbij de emissie wordt berekend uit de ammoniakconcentraties gemeten in het midden van de mestplot in combinatie met het gemeten windprofiel. Daarnaast werden er benedenwinds van de mestplots ammoniakpluimmetingen uitgevoerd. In de andere twee experimenten, 'Dronten-2' en 'Zwolle', werd alleen de IHF-methode toegepast.

De resultaten zijn in onderstaande tabel samengevat. Weergegeven zijn de percentages van de aangebrachte hoeveelheid Totaal Ammoniakaal Stikstof (TAN) dat vervluchtigd is als N-NH_3 .

Experiment	Emissiefactor & range		
	Slootsmid	Zodenbemester	Conditie
Dronten 1	23% (20-26)	16% (13-19)	Warm, nat, klei
Dronten 2	32% (19-35)	40% (38-42)	Warm, droog, klei
Zwolle	16% (13-19)	13% (10-16)	Koel, droog, veen
Gemiddelde	$23.7 \pm 5 \%$	$23 \pm 5 \%$	

Opmerkingen:

1. De aangegeven range is een inschatting van de onnauwkeurigheid bij het gebruik van de getallen ten opzichte van elkaar. Voor de resultaten in absolute zin is de onzekerheidsmarge groter;
2. De hier gerapporteerde waarden zijn niet gecorrigeerd voor displacement height en turbulent transport

Bij zowel 'Dronten-1' als 'Zwolle' was de ammoniakemissie van het nieuwe Slootsmidsysteem hoger dan die van de zodenbemester. Het gaat in beide gevallen om experimenten waarbij de emissiefactor van de zodenbemester relatief laag was: 16 en 13%. Bij 'Zwolle' geldt dat, bij inachtnaam van de onzekerheid in de emissiegetallen, de Slootsmid- en zodenbemester een vergelijkbaar emissieresultaat laten zien.

Bij het 'Dronten-2'-experiment geven de metingen het voordeel aan de Slootsmidmachine met een emissiefactor van 32% ten opzichte van 40% voor de zodenbemester. Opgemerkt wordt dat het tijdens dit experiment relatief droog en warm weer was. Bij deze condities worden hogere emissiegetallen verwacht. Maar is ook het effect van het bij de Slootsmidbemester toegepaste sproeien van water op de meststroken naar verwachting het grootst.

Indien het het rekenkundig gemiddelde van de drie experimenten als representatief getal geaccepteerd word is de conclusie dat met 23% en 23.7% de twee zodebemester en de Slootsmid machine vergelijkbaar zijn.

Het gaat niet goed in Dronten-1 en we denken te weten hoe dat komt. Bij bij de andere experimenten lijkt gelijkwaardigheid met de zodenbemester reeel. De in Fase 1 van het SBIR programma uitgevoerde windtunneltesten suggereren die gelijkwaardigheid ook.

1

Inleiding

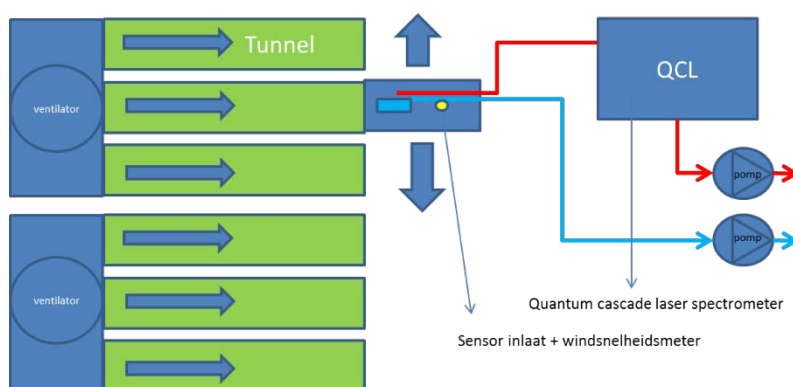
De uitgevoerde metingen vonden plaats in het kader van een SBIR-project. Het SBIR-programma faciliteert innovatie bij bedrijven. Het maakt het mogelijk om als bedrijf technologische/onderzoeksinstituten mee te laten helpen om innovaties te testen. In dat kader werden in 2014 en 2015 reeds metingen gedaan aan de 'Triple Spray-bemester' van Slootsmid.

Bij de uitgevoerde windtunneltesten werd mest aangebracht op graszoden. De ammoniakconcentraties werden gemeten met een Quantum Cascade Laser (QCL, Aerodyne) spectrometer die was gekoppeld aan een set windtunnels die speciaal voor deze proef werd ontwikkeld. De opstelling heeft twee sets van drie windtunnels, iedere tunnel heeft een bak voor de graszoden van 11 cm diep en een oppervlak van 40*180 cm (zie **Figuur 1**).

Ammoniak laat zich moeilijk meten omdat het 'plakt' aan wanden, inlaatleidingen en filters. Hierom staat aan de ene kant van de tunnel een ventilator op een verdeelkast die een gelijke luchtstroom over de drie aangesloten tunnels verdeelt. Aan het andere uiteinde is de tunnel open en vóór de opening wordt een verplaatsbaar, kort tunnelsegment gereden met daarin een windsnelheidsmeter en een speciaal geconfigureerde inlaat naar de QCL (voor schematische tekening zie **Figuur 2**). Deze glas-geblazen inlaat heeft een aansluiting voor twee pompen. Eén pomp zorgt voor een hoge inlaatsnelheid van de lucht, de andere pomp zuigt in tegenstroom het gas af door een op onderdruk geregelde verwarmde inlaatleiding die naar de meetcel van de QCL loopt. De sampleflow is rond de 20 l/minuut bij een onderdruk in de cel van 0,1 bar, dit zorgt voor een heel snelle verversing van de lucht in de meetcel. Hierdoor is de QCL in staat concentratieveranderingen binnen seconden in beeld te brengen.



Figuur 1: Foto van de windtunnelopstelling met de windtunnels buiten onder een tent en de QCL in de meetwagen. De QCL meet NH_3 en tevens CH_4 , N_2O , H_2O , 10 metingen per seconde.

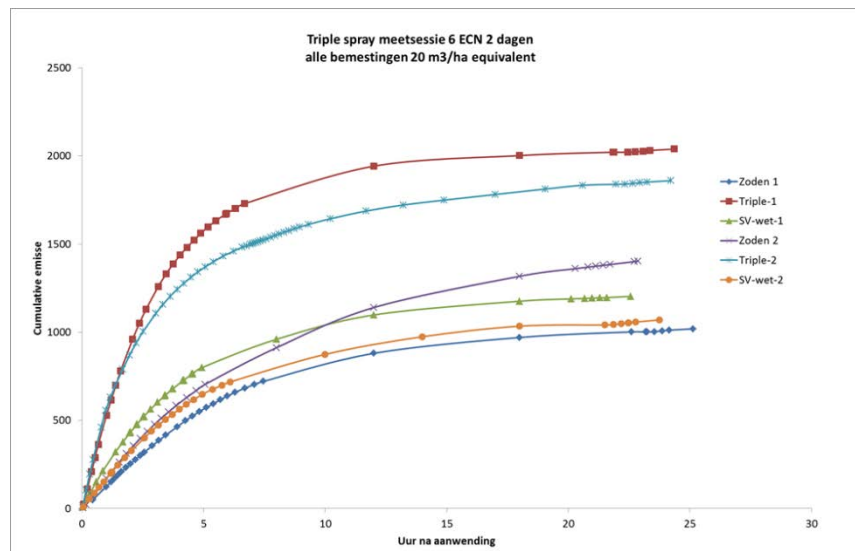


Figuur 2: Schematische opzet van de windtunnelset.

In alle gevallen werd er 1,6 liter mest op de graszode opgebracht in de tunnels, wat overeenkomt met een mestgift van $20 \text{ m}^3/\text{ha}$. Bij elk experiment werd de gebruikte mest op samenstelling geanalyseerd.

Deze metingen zijn geschikt voor gebruik in relatieve zin. Windtunnels zijn niet per definitie het meest geschikt om de NH_3 -emissie in absolute zin te evalueren. Maar omdat de condities hier voor alle bemestingsmethoden vergelijkbaar zijn en de metingen quasi-simultaan (steeds een minuut per box) worden uitgevoerd, zijn conclusies over het relatief gedrag van het emissiepatroon vanuit de verschillende bakken af te leiden.

De windtunneltesten lieten zien dat een met een kouter bemeste strook mest die met een watersproeier van boven wordt besproeid een vergelijkbare of lagere emissie geeft dan de gesimuleerde zodenbemester terwijl dat met de Triple spray machine niet lukte. Het is mede op basis van deze metingen dat de in deze rapportage beschreven veldproeven uitgevoerd zijn met de kouter+water bemester.



Figuur 3: Bij deze metingen zagen we dat de kouder met water (SV-wet) 1 & 2 (groene en oranje lijn) beide tot vergelijkbare emissiewaarden komen dan de zodenbemeste bakken (paars en donkerblauw). De Triple Spray-bakken (rood en lichtblauw) die we hebben getest bleven beide duidelijk boven de zodenbemester (metingen te Petten, november 2015).

2

Methode en instrumenten

In 2016 zijn door ECN en het Louis Bolk Instituut drie veldexperimenten uitgevoerd ter bepaling van het ammoniakemissieniveau dat gerealiseerd kan worden met de nieuw ontwikkelde bemester van Slootsmid. De eerste twee experimenten werden uitgevoerd op een boerderij bij Dronten, het derde experiment op een veld ten noorden van Zwolle.

2.1 Meetmasten

Bij een experiment wordt een cirkelvormige mestplot aangebracht. In het midden van de te bemeten mestplot staat een NH_3 -meetmast. De mast om de achtergrondconcentratie van NH_3 te meten wordt bovenwinds geplaatst. Daarnaast wordt er een meteomast geplaatst met windmetingen op 6 hoogtes.

De meteo en achtergrond meetmast

Figuur 4 laat de meteomast zien in de configuratie die bij de experimenten in Dronten werd gebruikt. Bovenop de meteomast is een Gill windmaster Pro 3D sonische anemometer geplaatst. Deze meet de wind- en turbulente conditie van de atmosfeer met 20 metingen per seconde. Additioneel zijn op vier hoogten Gill 2D sonische anemometers gebruikt ter bepaling van het windprofiel. Een Vaisala all weather station voor de metingen van wind, regen, vocht, temperatuur en druk is geplaatst op 3,3 meter hoogte. Voordeel van sonische anemometers is dat deze, in tegenstelling tot de cup anemometers, geen aanloopsnelheid hebben en ook geen last hebben van overspeeding.



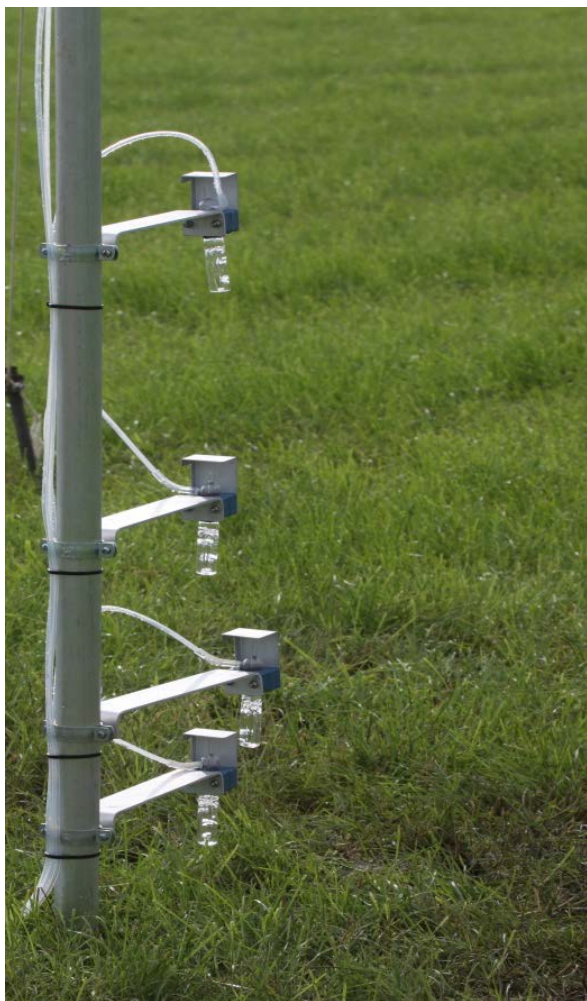
Figuur 4: Meteo mast met wind op 6 hoogtes voor de windmetingen.

Op de foto zijn ook de uithouders op de mast te zien die worden gebruikt voor metingen van de achtergrondconcentraties tijdens het 'Dronten-1'-experiment. Bij de twee andere experimenten werd voor de achtergrondconcentratie een aparte mast met uithouders toegepast.

Mast midden op de bemeste plot

In het midden van de mestplotjes werden NH_3 -metingen uitgevoerd volgens de in Nederland gangbare methode met bubbelaars op meerdere hoogten (**Figuur 5**). Er is gemeten op 6 hoogten te weten 20, 35, 60, 100, 160 en 330 cm boven de grond. Er werd gebruik gemaakt van Supelco Midget bubbelaars met 15 ml 0,1 M CH_3COOH , bij een doorstroming van 0,45 l/minuut. Bij 'Dronten-1' werden de bubbelaars ieder met een kritisch capillair aangesloten op een grote pomp. Bij de andere experimenten had elke bubbelaar een eigen pompje en flowmeter. Voordeel van deze laatste opzet is dat de pompjes op accu's bedreven kunnen worden en dat de doorstroming van de bubbelaars met een logger kan worden gevolgd.

De bubbelaars werden gewisseld op 30, 60, 90, 180, 360, 540 en 1440 minuten na bemesting. Vervolgens werd 3 keer een 24 uur-monster genomen zodat in totaal over een 96 uren-tijdsbestek werd gemeten. De gemeten verticale NH_3 -profielen werden gecombineerd met de verticale metingen van de windsnelheid (zie de beschrijving van de IHF-methode).

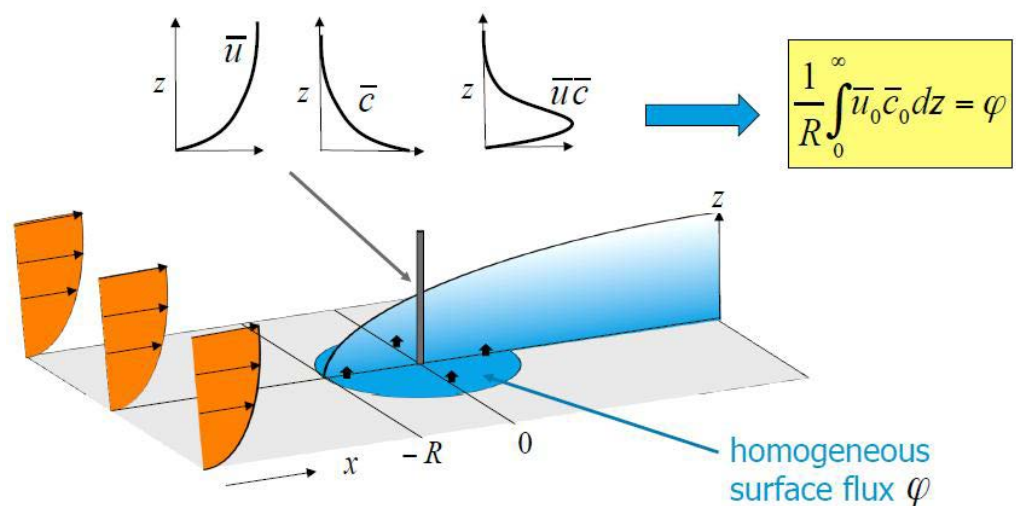


Figuur 5: Referentie plot: bubbelaars op de lagere niveaus.

2.2 IHF-methode

IHF-berekeningen

De Integrated Horizontal Flux (IHF) of massabalansmethode is de standaard meetmethode in Nederland voor dit type experimenten. De manier waarop deze metingen moeten worden gedaan is beschreven in het VERA protocol. De gemeten NH_3 -concentraties op verschillende hoogten worden gecombineerd met de metingen van de windsnelheid om de emissies te bepalen (Denmead 1983; Ryden et al., 1984; Leuning et al., 1985; Sherlock et al., 1989; Huijsmans et al., 2001). De manier waarop dat gebeurt is conceptueel weergegeven in **Figuur 6**. De integratie over de meethoogten van het product van de gemiddelde windsnelheid en de gemeten gemiddelde concentratie in de bubbelaars kan op meerdere manieren worden uitgevoerd. In de meest eenvoudige vorm worden de gegevens laag voor laag berekend en opgeteld, gebruikelijk is om een curve te fitten aan de metingen van de concentratie en de windsnelheid. Er zijn verschillende mogelijkheden om dit te doen (zie o.a. Ryden et al 1984).



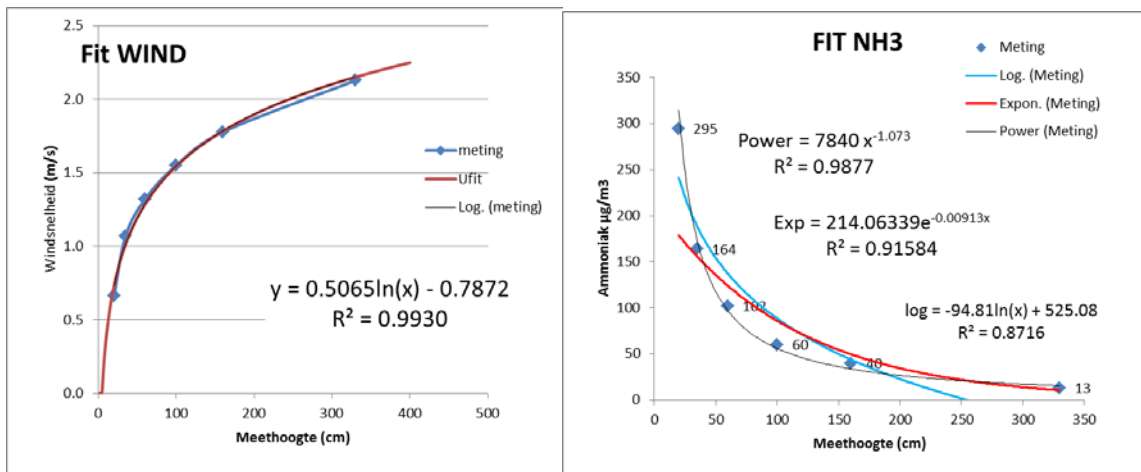
Figuur 6: Concept van de IHF-metingen, het gas dat uit de cirkel omhoog komt waait door de mast heen en wordt daar gemeten, u is de wind, z de hoogte boven de grond en c de concentratie van het te bemeten gas. De grootheden U en C hebben allebei een 'profiel' met de hoogte: de wind neemt met een exponent toe, de concentratie stijgt juist dichtbij het oppervlak. De formule in de gele box geeft aan dat de emissie wordt gevonden door de integraal over het profiel dat ontstaat als product op elke hoogte van u en c . De emissie geldt voor de strook van R meter lang.

Het windprofiel is bijna altijd goed te beschrijven met een logaritmische functie terwijl er voor het concentratieprofiel verschillende functies mogelijk zijn:

- $C=a \ln(z*b)$ (logaritmisch profiel, gebruikt in Reyden 1984 en standard)
- $C=a.\exp(z*b)$ (exponentieel profiel)
- $C=a z^b$ (power functieprofiel)

Waarbij a en b de te fitten parameters zijn. Verschillende integratiemethoden werden gebruikt om het effect van deze keus inzichtelijk te maken. Voor windgegevens geldt dat bij een logaritmische fit aan het windprofiel rekening gehouden moet worden met een hoogte boven het grondoppervlak waar de windsnelheid effectief nul is. Deze hoogte is een functie van twee parameters, de displacement hoogte (d) en de ruwheidslengte van het oppervlak (z_0). Deze hoogte ($d+z_0$) is bij gemaaid gras maar 1 of 2 centimeter, terwijl bij hoger gras en ander gewas als vuistregel aangenomen kan worden dat d gelijk is aan 2/3 van de gewashoogte en z_0 gelijk aan 0,1 maal de gewashoogte. Deze hoogte kan dus 5-10 cm zijn.

In de hier gepresenteerde metingen is hiervoor niet gecorrigeerd. De gepresenteerde emissiewaarden zijn ook exclusief de correctie voor het turbulent transport (-5 tot -20%). Deze correcties zijn nog niet uitgevoerd aangezien dit in andere experimenten ook niet is gedaan en daarmee is de methodiek vergelijkbaar met die van de gangbaar gerapporteerde emissies.



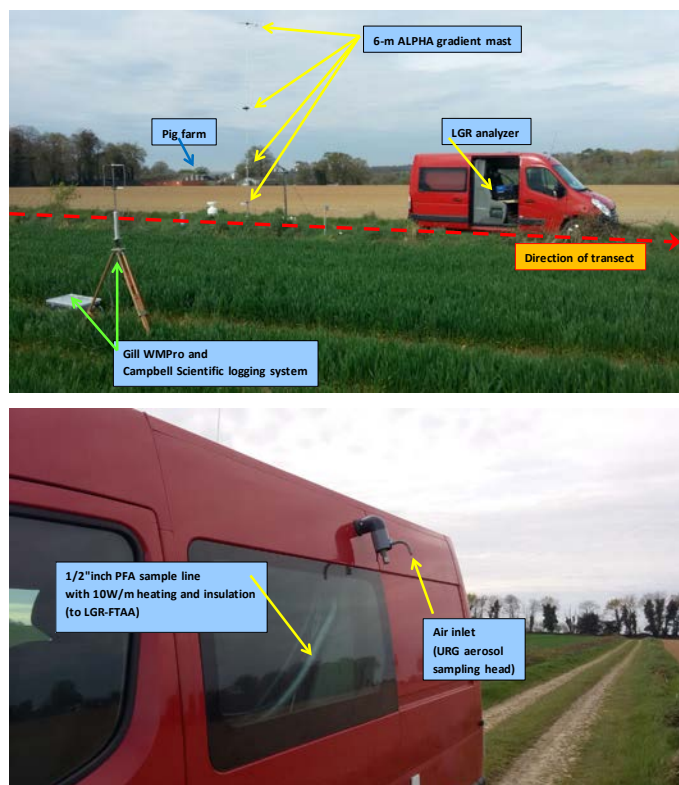
Figuur 7: Voorbeeld van het fitten van verschillende functies aan de gemeten profielen van concentratie en windsnelheid (de blauwe punten) met de hoogte. Links de horizontale windsnelheid en rechts de NH_3 -concentratie. X-as is de meethoogte, Y-as windsnelheid of concentratie.

In **Figuur 7** laat het linker paneel zien dat in dit geval een logaritmisch windprofiel de metingen inderdaad goed beschrijft. Voor het profiel van de concentratie als functie van de hoogte is dat anders. In dit voorbeeld blijkt de powerfunctie ($A \cdot z^B$) de metingen het best te beschrijven (hoogste R^2 -waarde). Vervolgens wordt de integraal over de meethoogten uitgerekend, met de aanname dat op de hoogste meethoogte de achtergrondconcentratie wordt gemeten.

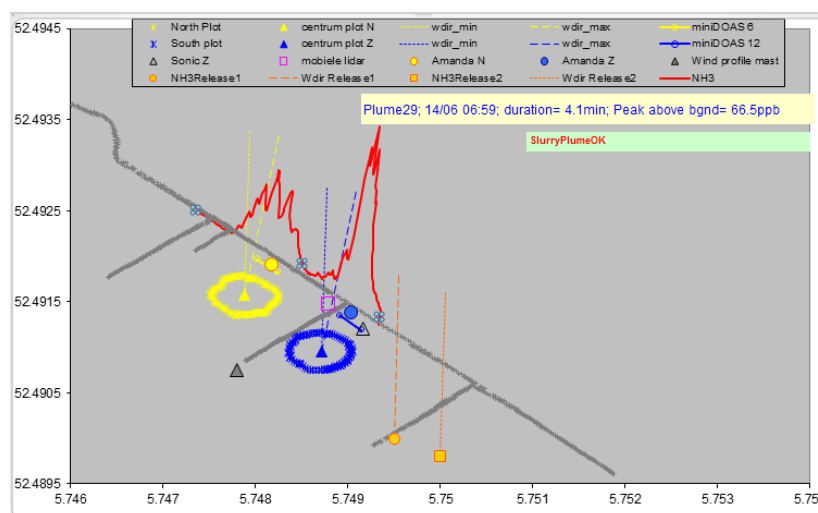
2.3 Mobiele metingen

Terwijl de IHF-metingen gebruik maken van monsternamen in het midden van de mestplot, worden de mobiele pluimmetingen juist op afstand van de mestplot uitgevoerd. De meetwagen heeft een instrument aan boord dat ammoniakmetingen met tenminste 1 meting per seconde kan uitvoeren. Deze wordt heen en weer gereden door de gaspluim die van het bemeste veld ontsnapt en met de wind wordt meegevoerd. **Figuur 8** laat de meetwagen zien en **Figuur 9** toont een voorbeeld van een gemeten pluim. De emissie wordt berekend met een atmosferisch dispersiemodel (backward Lagrangian stochastic model, bLS).

Mobile Ammonia Plume Sampling System (MAPSS)

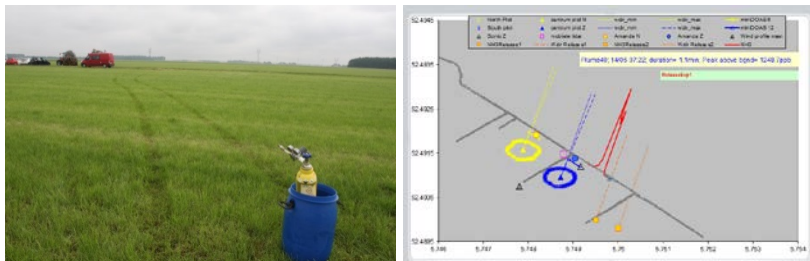


Figuur 8: Het mobiele meetsysteem van INRA Frankrijk. In de meetbus is een Los Gatos analyser gebruikt om de NH_3 -concentratie te bepalen. Het systeem bepaalt simultaan met de concentratiemetingen de GPS positie en maakt gebruik van de meteo gegevens (windsnelheid, windrichting en turbulentiegraad) om de emissie per pluim uit te rekenen.



Figuur 9: Voorbeeld van twee pluimen gemeten ten noord-oosten van de gele en blauwe cirkels: mestplots in het Dronten-1 experiment. De gele en blauwe stip net onder de rode pluimen geven de posities weer van de twee ECN-Amanda NH_3 -monitoren. De gele en blauwe lijntjes bij die stip parallel aan de weg laat zien waar de RIVM miniDOAS heeft gemeten.

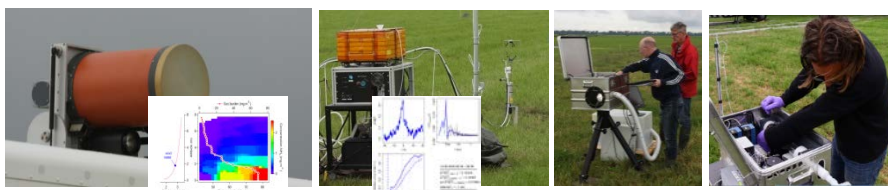
De modellen waarmee vanuit de pluimmetingen een emissie is berekend zijn het WINDTRAX en het vergelijkbare Zwitserse HANITRAX model (Flesch et al., 1995,2004, Häni, 2016). Validatie van de modelberekeningen gebeurt op verschillende manieren. In 'Dronten-1' werd ten zuid-oosten van de mestplots NH_3 losgelaten. Er werd hiervoor gebruik gemaakt van een puntbron met 10 l puur NH_3 in gasflessen met een emissie van 0,5 g NH_3 /s door gebruik van een kritisch capillair en een voordruk van 1 bar (**Figuur 10**).



Figuur 10: Links, kunstmatige bron om NH_3 los te laten. Het model wordt getest met de pluimen van deze bron. Rechts, voorbeeld van een gemeten pluim (rood) uit de kunstbron (op de oranje cirkel)

Het 'Dronten-1'-experiment heeft een ideale dataset opgeleverd voor de evaluatie van het verspreidingsmodel aangezien er veel instrumenten aanwezig waren. De modelberekeningen kunnen worden 'geijkt' op de gemeten gegevens van de ene set instrumenten en vervolgens getoetst worden op andere datasets. Zo geeft bijvoorbeeld de RIVM Lidar (**Figuur 8**), die op de eerste meetdag aanwezig was, informatie over tot welke hoogte de NH_3 -pluim zich verspreid. De twee RIVM miniDOAS-systemen geven een gemiddelde concentratie over een lijn van 20 meter door de pluim heen en de twee natchemische ECN-Amanda's geven een soortgelijke dataset voor twee meetpunten in de pluim.

De exercitie waarin al deze gegevens vergeleken worden en waarin wordt gekeken naar het functioneren van het verspreidingsmodel voor een dergelijk experiment, valt buiten het bestek van deze rapportage. De hier gerapporteerde bronsterkte op basis van de pluimmetingen is echter wel gevalideerd met die informatie.



Figuur 11: v.l.n.r.: De RIVM lidar voor verticale metingen, ECN-QCL voor turbulentie effect, RIVM-miniDOAS voor pad geïntegreerde metingen en de ECN-Amanda voor metingen op een locatie.

Tabel 1 geeft een overzicht van de gebruikte meetopstellingen in het ‘Dronten-1’-experiment. Niet van alle meetinstrumenten is de data verwerkt binnen deze opdracht. Voor een belangrijk deel wordt dat in het buitenland uitgevoerd.

Tabel 1: Overzicht van de instrumenten die zijn gebruik bij ‘Dronten-1’

Instrument	Nr	Locatie	Tijd
Alpha samplers	300	5 hoogtes mast 2 3 hoogtes op bkg mast	Batch 9 episoden
Bubbelaars	100	5 hoogtes mast 1 3 hoogtes bkg mast	Batch 9 episoden
Mobiele Los Gatos	1	In de INRA meetbus om door de pluim heen te rijden	Semi Continue op 13-15 juni
Amanda	2	Een instrument benedenwinds van elk plotje	Continue van 13-17 juni
Mini Doas	2	Een instrument benedenwinds van elk plotje	Continue van 13-17 juni
Aerodyne QCL	1	In het midden van de referentie plot	13-15 juni
Loas Gatos	1	In het midden van de Slootsmid plot	13-17 juni
Picarro	1	Verschillende locaties	14-17 juni
LIDAR	1	Met bundel door de pluim van de referentie plot	13 juni
Meteo metingen	5	2d sonische anemometers Op 4 hoogten langs de meteo mast	Continue
	1	Vaisala all weather (Wind, regen, temperatuur, Relatieve vochtigheid en luchtdruk)	Continue
	3	3 d sonische anemometers 1 op 5 meter hoogte op meteomast, een op 1.80 bij de mobiele metingen en een op het midden van de referentie plot.	Continue (meteomast) Eerste 2 dagen (ref plot en mobiel)

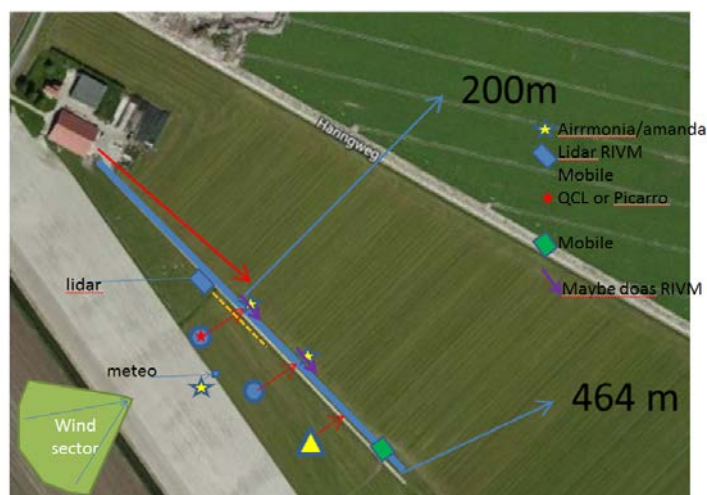
3

Experiment Dronten-1

Dit experiment waarbij de ammoniakemissie is bepaald van twee mestplotjes aangebracht met een referentiemethode (de zodenbemester) en de Slootsmidbemester is uitgevoerd tussen 13 en 19 juni 2016 op een boerderij bij Dronten. Op deze boerderij zijn in 2015 tevens de Triple Spray-testmetingen met windtunnels (zie **Hoofdstuk 1**) uitgevoerd.

De velden van de boerderij liggen rondom $5^{\circ}45'0.55''\text{E}$, $52^{\circ}29'29.31''\text{N}$. Conceptuele lay-out van het experiment is weergegeven in **Figuur 12**.

De metingen werden uitgevoerd met zowel de IHF-methode als met een mobiel meetsysteem (zie paragraaf 2.3).



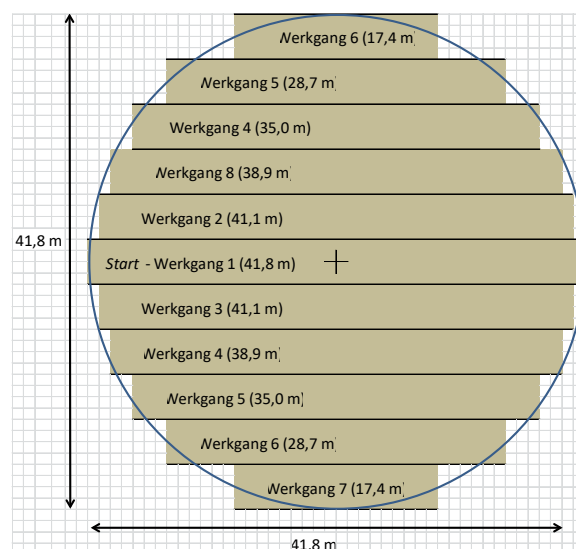
Figuur 12: Schematische opzet van het experiment in juni 2016 <NIEUW PLAATJE NODIG>

3.1 Mestaanwending

De twee mestplotjes werden gemaakt door simultaan met twee bemesters in 11 stroken mest aan te brengen zoals weergegeven in **Figuur 13** en **Figuur 14**. De opgebrachte hoeveelheden mest waren 19,7 en 20,7 m³/ha voor respectievelijk de zodenbemester en de nieuwe Slootsmidbemester. De aanleg van de mestplotjes duurde in totaal 14 minuten (zie **Tabel 2**), waarbij de baan met mest in het midden het eerst werd uitgereden. Zodra die af was werden de meetinstrumenten op hun plek gezet terwijl de machine de andere bovenwindse banen in circa 6 minuten bemeste. Tenslotte werden de banen benedenwinds van de opstelling uitgereden. De metingen startten na ongeveer 2 minuten.



Figuur 13: De twee bemesters die de plotjes aanleggen bij 'Dronten-1'.



Figuur 14: Ontwerp van de plotjes. Iedere werkgang geeft een strook mest weer.

Tabel 2: Gegevens van mestaanwending 'Dronten-1'.

Item	Injection	Trailing hose + water
Weight tractor & tank combi before (kg)	23500	23580 ⁽¹⁾

Idem after manure application (kg)	20800	20540 ⁽¹⁾
Manure applied (kg)	2700	3040
Distance with manure applied (m)	360,3	374,6
Surface applied (m²)	1369,1	1463,3
Manure dose (kg/ha)	19721	20775
Driving speed during manure application (km/h)	4,2	4,1
Injection (cm)	4 à 5	Surface applied
Wateruse (m³/ha)		2
Time start track 1 (hh:mm:ss)	7:08:28	7:08:29
Time stop track 1	7:09:20	7:09:08
Tijdsduur track 1	0:00:52	0:00:39
Time start track 2	7:09:56	7:09:54
Time stop track 2	7:10:38	7:10:31
Time start track 3	0:00:42	0:00:37
Time stop track 3	7:11:13	7:11:11
Time start track 4	7:11:45	7:11:48
Time stop track 4	0:00:32	0:00:37
Time start track 5	7:12:36	7:12:40
Time stop track 5	7:13:13	7:13:20
Time start track 6	0:00:37	0:00:40
Time stop track 6	7:14:09	7:14:11
Time start track 7	7:14:41	7:14:44
Time stop track 7	0:00:32	0:00:33
Time start track 8	7:15:38	7:15:38
Time stop track 8	7:16:14	7:16:06
Time start track 9	0:00:36	0:00:28
Time stop track 9	7:17:18	7:17:16
Time start track 10	7:17:33	7:17:32
Time stop track 10	0:00:15	0:00:16
Time start track 11	7:22:11	7:22:22
Time stop track 11	7:22:45	7:22:57
Manure application active time	0:05:19	0:05:08

(1) Weight before and after with empty watertank

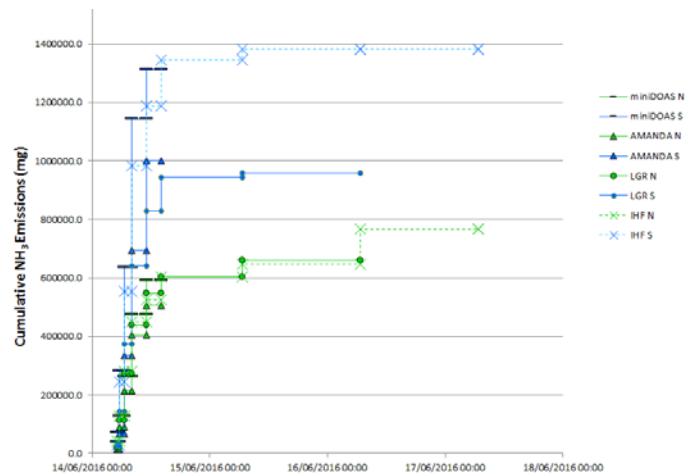
Tabel 3: Stikstof en minerale samenstelling in vier monsters per bemester (g/kg product).

Device	Monster	N-tot	N-NH ₃	N-Org	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH
Sleepvoet + water	1	3,84	1,7	2,1	1,21	4,3	
	2	3,53	1,7	1,8	1,08	4,1	
	3	3,83	1,7	2,1	1,37	4,7	7,3
	4	3,79	1,8	2,0	1,31	4,6	7,3
	Average	3,75	1,7	2,0	1,24	4,4	7,3
Zodenbemester	1	3,62	1,7	1,9	1,15	4,1	
	2	3,57	1,7	1,9	1,47	4,2	
	3	3,84	1,7	2,1	1,21	4,3	7,3
	4	3,53	1,7	1,8	1,08	4,1	7,3
	Average	3,64	1,7	1,9	1,23	4,2	7,3

3.2 Emissieberekeningen

De metingen van de 189 gemeten pluimen zijn allen omgerekend naar emissiegetallen. Hiervoor is gebruik gemaakt van het dispersiemodel (REF). De metingen van de andere instrumenten werden ook gebruikt om te komen tot emissieschattingen. De voorlopige resultaten van deze exercitie zijn weergegeven in **Figuur 15**.

De groene lijnen geven de resultaten weer bij de noordelijke plot. Emissieschattingen zijn daar gebaseerd op de pluimen (bolletjes), de impinger IHF-mast (kruisje), de miniDOAS getallen (streepje) of de ECN Amanda (driehoek). Al deze lijnen lopen goed met elkaar mee en daarmee lijkt de emissie van de plot met de zodenbemester goed in beeld.



Figuur 15: Voorlopige resultaten van de evaluatie van de metingen van Dronten-1. Cumulatieve emissie in groen voor de noordelijke plot met de zodenbemester en in blauw voor de zuidelijke plot met het Slootsmidsysteem.

De emissie voor de zuidelijke plot van de Slootsmidbemester is echter minder duidelijk. De IHF-schatting met de alfa samplers komen overeen met de resultaten op basis van

de miniDOAS. Beide geven echter een veel hogere emissieschatting dan de mobiele pluim (LGR) en de Amandametingen. Ondanks deze onzekerheid is de emissie van de plot met de Slootsmidbemester beduidend hoger dan die van de plot met de zodenbemester.

Omdat in de andere experimenten de IHF-methode is gebruikt om de emissies te bepalen is dat ook voor dit experiment gedaan. Daarbij is het van belang te weten dat de IHF-metingen op de zodenbemeste plot uitgevoerd werden met de bubbelaars zoals weergegeven in **Figuur 2** maar op de Slootsmid-plot zogenaamde Alpha Samplers werden gebruikt (**Figuur 16**). Deze keus is gebaseerd op beschikbaar budget.

Bij de Alpha Samplers worden er drie passieve samplers onder een aluminium hoedje gehangen. Potentieel probleem bij de opzet met Alpha Samplers is dat de gemeten concentratieniveaus overschat kunnen zijn omdat de lucht met veel NH_3 vanaf de bodem makkelijker bij de samplers komt dan de 'schone' lucht van bovenaf. De Alpha Samplers zijn in Frankrijk bij INRA-Grignon geanalyseerd en geëvalueerd door de teams van INRA-Rennes en -Zwitserland. Op basis daarvan zijn de alfa samplers gecorrigeerd.



Figuur 16: Metingen met de alfa samplers (schoteltjes aan de aluminium mast) en met de portable los Gatos met de inlaat op een liftje.

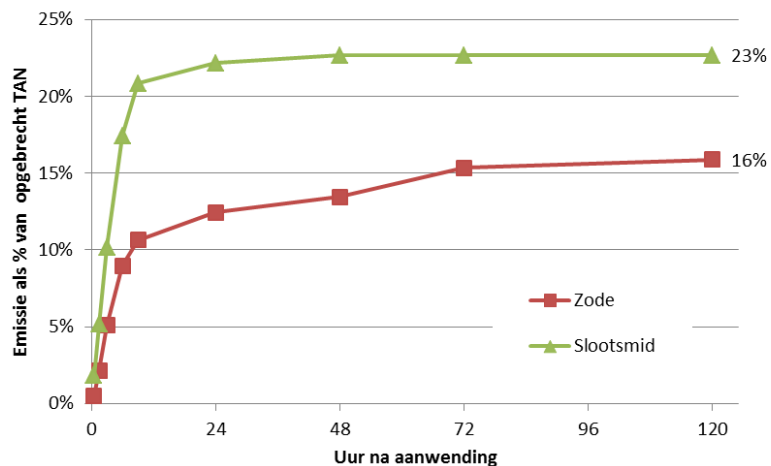
De gecorrigeerde gegevens zijn op de zelfde manier doorgerekend als de gegevens van de bubbelaars.

3.3 Resultaten

De cumulatieve emissie berekend met de IHF-methode is voor de twee plots weergegeven in **Figuur 17**. Het resultaat is in lijn met het verschil in de emissieniveaus die door de pluimmetingen werden waargenomen. De mestplot van het Slootsmidsysteem heeft een hogere emissie dan de plot van de zodenbemester.

Hierbij zijn twee kanttekeningen te maken:

- Het veld bleek erg zacht (en dat is bij een kleibodem alleen het geval na een recente periode van een significant neerslag overschot) waardoor de mestgleuven van de zodenbemester diep waren en de mest 1-1,5 cm onder het maaiveld lag. Kortom, ideale condities voor de zodenbemester;
- Het Slootsmidsysteem moet voordeel halen uit het nat maken van het oppervlak van de mest. Dit voordeel werd door een grote hoeveelheid regen 7 uur na de start van de metingen teniet gedaan. De emissie van de plot met de Slootsmidbemester bleek voor de regen echter al een stuk hoger dan de emissie van de plot met de zodenbemester.



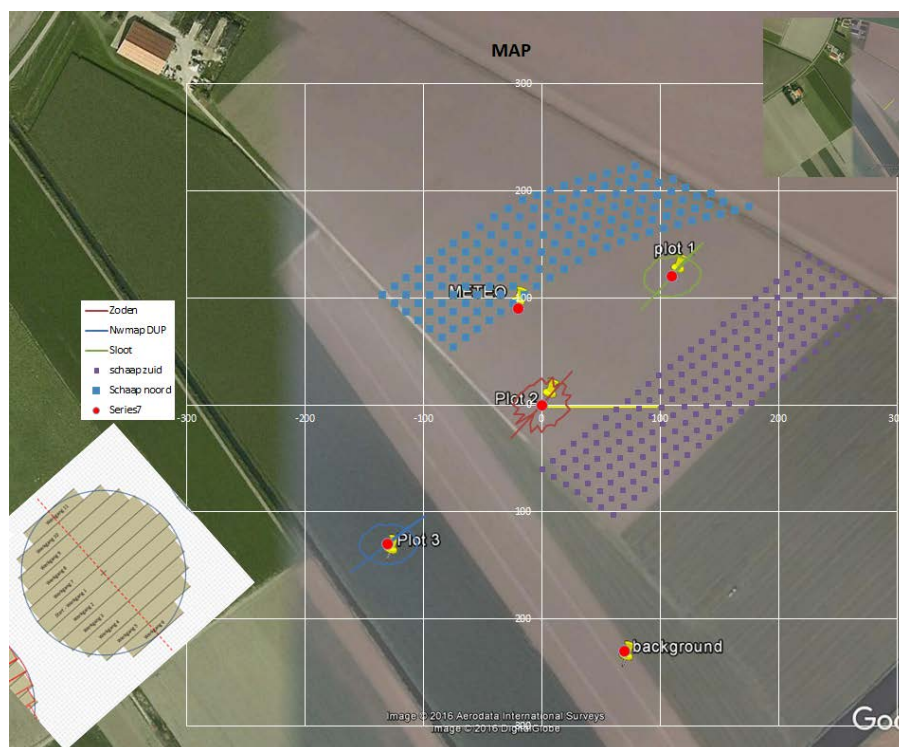
Figuur 17: Cumulatieve emissie bepaald met de IHF-methode voor de zodenbemeste plot en de Slootsmidplot. De emissie van de nieuwe Slootsmidmachine geeft een hogere emissiewaarde.

4

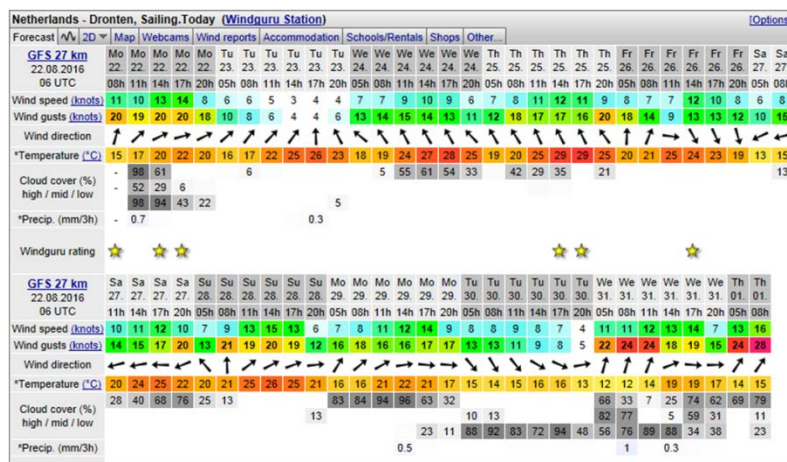
Experiment Dronten-2

Dit experiment is uitgevoerd tussen 24 en 29 augustus 2016 op een boerderij bij Dronten. De velden van de boerderij liggen rondom 5°45'0.55"E , 52°29'29.31"N.

In **Figuur 18** is de opzet van het experiment weergegeven. De wind kwam op de eerste twee meetdagen uit zuidelijke richting (zie **Figuur 19**). De drie mestplotjes werden daarom in een lijn (ZW-NO) aangelegd ten zuidoosten van de boerderij. Plot 1 aan de oostkant (=rechts) in de figuur werd met de Slootsmidbemester bemest, bij de middelste plot (2) werd de zodenbemester ingezet en bij het plot aan de westkant (3) werd een machine van Duport gebruikt (die gegevens worden in dit rapport verder niet behandeld).



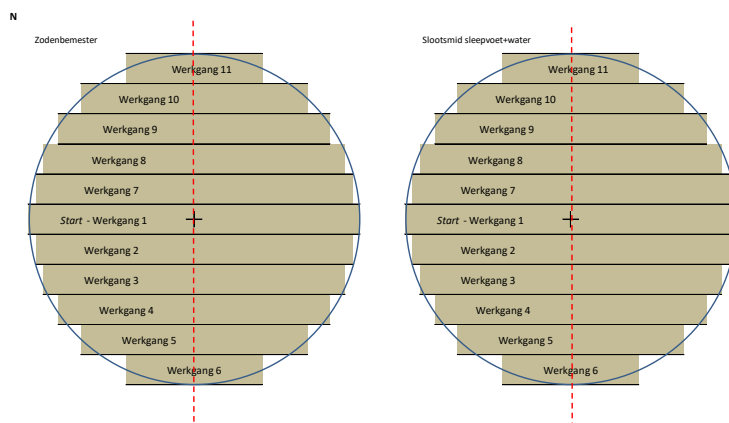
Figuur 18: De drie mestplotjes, de meteomast en de achtergrondmast weergegeven als rode stippen. De blauw en paarse stippen geven de twee velden aan waar schapen hebben rondgelopen (zie hieronder).



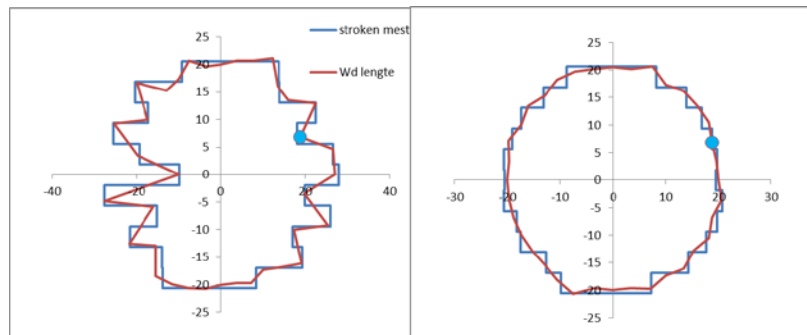
Figuur 19: Meteorologische conditie bij deze campagne. De windrichting is zuidelijk op woensdag en donderdag. Op vrijdagochtend draait de wind.

4.1 Mestaanwending

De mestplotjes werden gevormd door 11 stroken mest aan te brengen zoals weergegeven in **Figuur 20**. De mest werd vrijwel tegelijkertijd in beide plotjes opgebracht in een tijdsbestek van ongeveer 10 minuten. Het bemeste oppervlak verschilt per mestplotje door verschil in bemestingsmethode. De gebruikte machines hebben niet dezelfde werkbreedte, de Slootsmidmachine is net 5 cm breder. De zodenbemester laat daarom strookjes van 5 cm open tussen de banen mest. Deze verschillen zijn verrekend in de berekening van het bemeste oppervlak. De mestgift (kg $\text{NH}_3\text{-N}$) per plot verandert niet door deze correctie, omdat de werkelijke hoeveelheid opgebrachte mest per plot is gemeten.



Figuur 20: Geplande opzet van de zodenbemester (links) en Slootsmidplot (rechts) in 11 werkgangen (de plotjes liggen in werkelijkheid verder van elkaar vandaan, zie **Figuur 18**).



Figuur 21: Gerealiseerde plot van de zodenbemester (links) en van de Slootsmidbemester (rechts) in 11 werkgangen, gemeten en gefitte vorm.

De zodenbemester gaf een storing bij de eerste mestbanen waardoor de plot niet mooi rond werd (zie **Figuur 21**). De gemeten vorm, weergegeven met de blauwe lijn en gefit met een rode lijn voor elke 10 graden windrichting, is gebruikt om te corrigeren voor het potentieel effect van deze afwijking. Deze correctie is uitgevoerd aan de hand van de windrichting op minuutbasis voor elk van de 9 meetepisoden (zie hieronder). De correctie is vervolgens gemiddeld over de tijd van de meetepisode. Deze correctie betreft de waarde van R in **Figuur 6 (IHF-methode)**. De opgemeten afstanden van de mestbanen en de gegevens over de mestgift staan in **Tabel 4**.

Tabel 4: Mestinformatie.

Slootsmid	Afstand bemest t.o.v. middellijn (m)		Zodenbemester	
	Links	Rechts	Links	Rechts
Werkgang 11	8.7	8.3	9.3	13.7
Werkgang 10	13.15	14.05	20.35	13.95
Werkgang 9	17.4	16.9	17.2	22.5
Werkgang 8	19.05	18.85	25.45	18.15
Werkgang 7	20.65	19.75	19.35	26.55
Werkgang 1	20.5	19.6	9.9	27.9
Werkgang 2	20.55	20.75	27.55	19.85
Werkgang 3	18.25	19.85	15.15	25.95
Werkgang 4	17.5	17.8	21.5	17
Werkgang 5	12.65	14.35	13.95	19.35
Werkgang 6	9.8	7.3	13.7	8.3
Afgelegde weg (m)	355.7		406.6	
Werkbreedte (m)	3.70		3.75	
Bemest oppervlak (m ²)	1316		1525	
Mestgift (kg/ plot)	2880		2903	
Mestgift (ton/ ha)	21.88		19.04	
Mest totaal N (kg/ton)	2.92		2.92	
Mest NH ₃ -N (kg/ton)	1.44		1.44	
Totaal N gift (kg/ plot)	8.41		8.48	
NH ₃ -N gift (kg/plot)	4.15		4.19	

Meer informatie over de mestcompositie, de gebruikte machines, de botanische samenstelling van het veld en bemesting gerelateerde parameters is opgenomen in de **Bijlage A, Tabel A t/m D**.

4.2 Emissieberekeningen

De metingen tijdens dit veldexperiment hebben twee onzekerheden, loslopende schapen en de door de zodenbemester aangebrachte hoeveelheid mest.

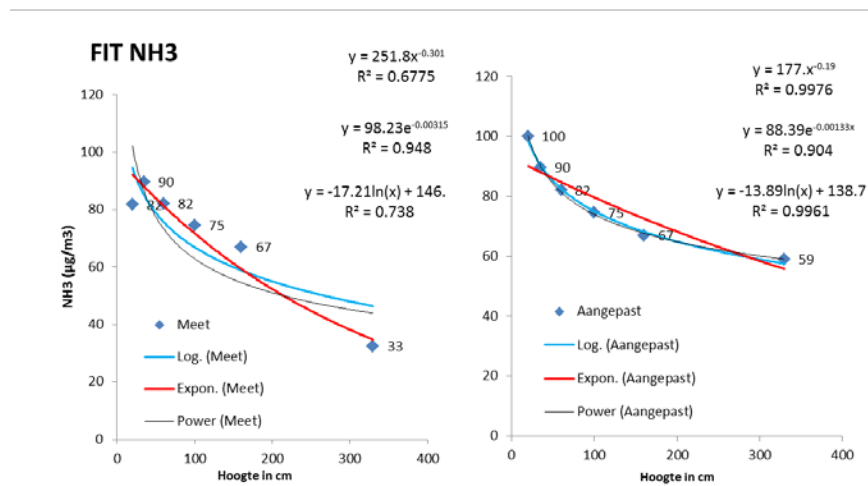
Nadat de metingen waren gestart werden er onverwacht schapen losgelaten op het aangrenzende veld (**Figuur 22**). De 200 dieren zijn aan het begin van het experiment aan de Noordzijde van de experimentele plots geplaatst. De eerste twee meetdagen zijn in principe niet beïnvloed door de schapen omdat de wind zuidelijk was. Op de derde dag (vrijdag) ging de wind draaien en daarom zijn de schapen toen naar de zuidkant van het terrein gebracht. Inmiddels lag er echter schapenmest (met NH_3 -emissie) aan de noordzijde en kan dus verwacht worden dat NH_3 van de schapen over de plotjes waaide. In de metingen zien we dat helaas terug. Het potentieel effect van de schapen op de verschillende plotjes is bepaald met een verspreidingsmodel. Dit blijkt relevant voor de Slootsmidplot en in mindere mate relevant voor de plot van de zodenbemester.



Figuur 22: Foto van de schaapskudde aan het eind van de campagne, de dieren staan dan ten zuiden van de mestplotjes.

De berekeningen met het dispersiemodel hebben een grote onzekerheid omdat de plek van de bron niet eenduidig kon worden bepaald. We hebben besloten daarom de correctie voor de emissie op de beide plots uit te voeren door voor metingen vanaf 48 uur de concentratie op de 330 cm hoogte als achtergrondwaarde te gebruiken voor het hele profiel.

Ammoniak van de schapen of van een andere bron op grotere afstand van de mestcirkel uit zich in het verhogen van alle concentratieniveaus op alle meethoogten of in de verstoring van de vorm van het verticaal concentratieprofiel. Daarnaast kan, ondanks het loggen van de luchtflow en de kwaliteitscontroles op de analyses een willekeurig meetpunt niet kloppen. Een voorbeeld daarvan is te zien in de metingen van episode 7 bij de Slootsmidplot. Deze zijn weergegeven in **Figuur 23**.



Figuur 23: Fitfuncties die de concentratie beschrijven als functie van de hoogte.

In dit geval (gelukkig ook de enige in de dataset) zijn zowel de onderste als de bovenste meting afwijkend van de andere vier. Als we die twee punten niet meenemen in het bepalen van de fit functies, ontstaat een profiel dat, als het gaat om hoe goed het met de fitfuncties te beschrijven is, veel meer overeenkomt met de bulk van de 27 profielen die we in totaal bij dit experiment hebben verzameld.

Het resultaat is dat de achtergrondmeting op 330 cm voor deze episode hoger moet zijn dan nu uit de geanalyseerde monsters blijkt en dat geldt ook voor de meting vlakbij de grond. Het verhogen van de meting bij de grond laat de berekende emissie toenemen, maar de verhoging van de meting op 330 meter zorgt voor een lagere emissieschatting.

Op deze manier werden een aantal profielen gecorrigeerd waarvan we ook weten dat de schapen een effect moeten hebben gehad. Het gaat hierbij om de profielen voor episode 7&8 voor zowel de Slootsmid-plot als voor de zodenbemeste plot. Het voordeel van bovengenoemde correctiemethode is dat we geen informatie hoeven te gebruiken over de exacte positie van de schapen. De emissieschattingen voor de zodenbemeste plot dalen voor deze twee episodes met 34% en 46%. De correctie voor Slootsmid voor deze perioden bedraagt 65% en 81%.

Correctie voor de vorm van de plot

Zoals hiervoor besproken was met name de plot van de zodenbemester niet rond. In de berekeningen werden de emissiegetallen geschaald naar een lengte van 20 meter. De correctie voor de vorm kan worden afgeleid uit **Tabel 5** en bedraagt maximaal 2% in de eerste 5 meetperiodes, en tot 10% voor de laatste episodes. Deze correcties zijn uitgevoerd.

Tabel 5: Effectieve lengte over de mestplot per episode.

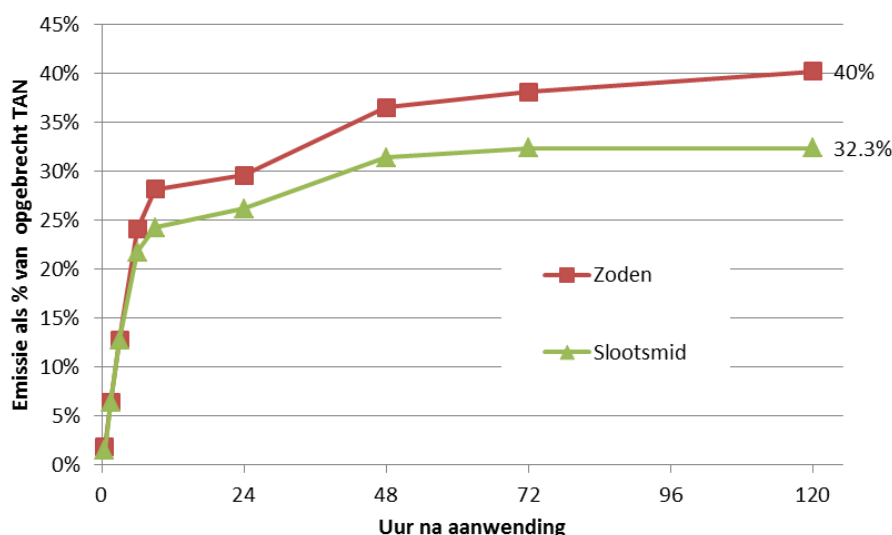
Episode	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ZODEN L	20.0	20.4	20.0	20.0	20.0	20.9	21.2	22.7	21.1
SLOOT L	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.4	20.4	21.4	19.9

Mesthoeveelheid zodenbemester

De hoeveelheid mest is bij de eerste weging bij de zodenbemester door een weegfout overschat met 1.000 kilo. Daarom is na het uitrijden nog een teststrook uitgereden bij de zelfde instellingen met de mestinjector. Deze mestgift is bepaald en gebruikt voor de bepaling van beschikbaar TAN. Dit brengt wel mee dat er een grotere onzekerheid dan normaal zit in de met de zodenbemester aangebrachte hoeveelheid mest.

4.3 Resultaten

De berekende cumulatieve emissie van de zodenbemester en van het Slootsmidsysteem staan weergegeven in **Figuur 24**. In deze resultaten zijn de bovenstaande correcties verwerkt. De berekende cumulatieve emissie van het Slootsmidsysteem blijft tijdens dit experiment onder die van de zodenbemester.

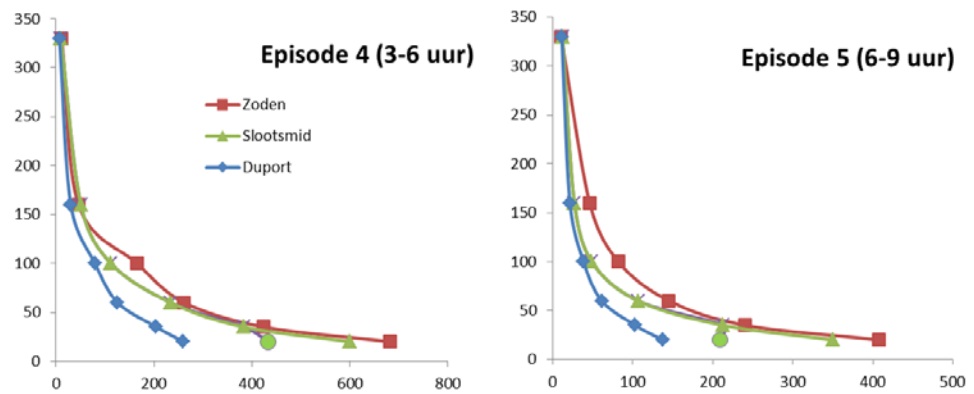


Figuur 24: De cumulatieve emissie van de twee plotjes uitgezet als percentage van op de opgebrachte Totaal Ammoniaaak Stikstof (TAN).

De berekende emissie van de zodenbemester lijkt relatief hoog. Dit zou mogelijk door de schapen kunnen komen (als er op lagere meethoogte een hogere bijdrage is dan op 3,30 meter hoogte) of door het probleem bij het voorwegen van de mest. Opgemerkt wordt dat het tijdens dit experiment relatief droog en warm weer was. Bij deze condities worden hogere emissiegetallen verwacht. Maar is ook het effect van het bij de Slootsmidbemester toegepaste sproeien van water op de meststroken naar verwachting het grootst.

Het belangrijkste verschil in de emissiepatronen voor de zodenbemester en de Slootsmidbemester zijn de episodes 4&5 van 3-9 uur na mestaanwending aangezien er dan geen sprake is van schapen bovenwinds. In deze twee episodes zijn de ammoniakconcentratieniveaus op de plot van de zodenbemester hoger dan op de plot voor het Slootsmidsysteem. **Figuur 25** geeft de concentraties op verschillende hoogten

weer. Opmerkelijk is dat de profielen bij Slootsmid in beide episodes een relatief lage concentratievlak bij de grond hebben, weergegeven met de groene ronde stippen. Indien we ervan uitgaan dat die concentratie hoger is, en daardoor beter past in een 'logisch profiel' dan maakt dat de emissieschatting voor de Slootsmid-plot 2-3% hoger. Deze correctie is meegenomen in **Figuur 24**. De emissie van het Slootsmid-plot is daarbij dus naar boven bijgesteld.



Figuur 25: Profielmetingen in episode 4 en 5 voor alle drie de mestplotjes. De metingen bij de Slootsmidplot (groene lijn) laten lagere concentratiewaarden zien dan bij de zodenbemeste plot (rode lijn).

5

Experiment Zwolle

De metingen voor deze campagne werden uitgevoerd van 26 t/m 29 oktober 2016. De meetlocatie is gelegen ten noorden van Zwolle op 52°34'44.58"N, 6°10'28.72"E.

In **Figuur 26** is weergegeven hoe de omgeving van het veld eruit zag. Aan de oostkant van het meetveld stonden een paar koeien (rond Noord-Oost = 130 graden). De wind is enkel aan het eind van de metingen uit die richting gekomen. De concentratieprofielen laten dan geen emissie meer zien.

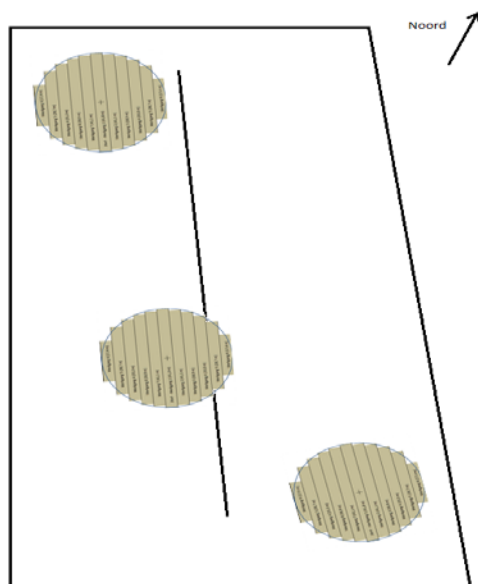


Figuur 26: Omgeving van het meetveld.

Evenals bij het experiment Dronten-2 werden drie mestplots aangelegd op een lijn schuin over het veld. Dat is loodrecht op de overheersende windrichting op de eerste twee dagen. De opzet van het meetveld is weergegeven in **Figuur 27**. Omdat er in het midden van het veld een kuil lag en er een smal (30 cm breed, 15 cm diep) drainagegeultje door het veld liep, werd de mest in noord-zuidrichting (parallel aan het geultje aangebracht). Dat is tevens min of meer loodrecht op de windrichting op dag 1.

5.1 Mestaanwending

Het uitrijden van de mest is in twee delen uitgevoerd in verband met een verstopping bij de zodenbemester tijdens het uitrijden van de eerste meststrook. Na een kwartier zijn de overige meststroken bij alle drie de plots uitgereden (zie **Tabel D** in **Bijlage A**). De gegevens met betrekking tot de mestgift zijn weergegeven in onderstaande **Tabel 6**.



Figuur 27: De drie plotjes op het meetveld.

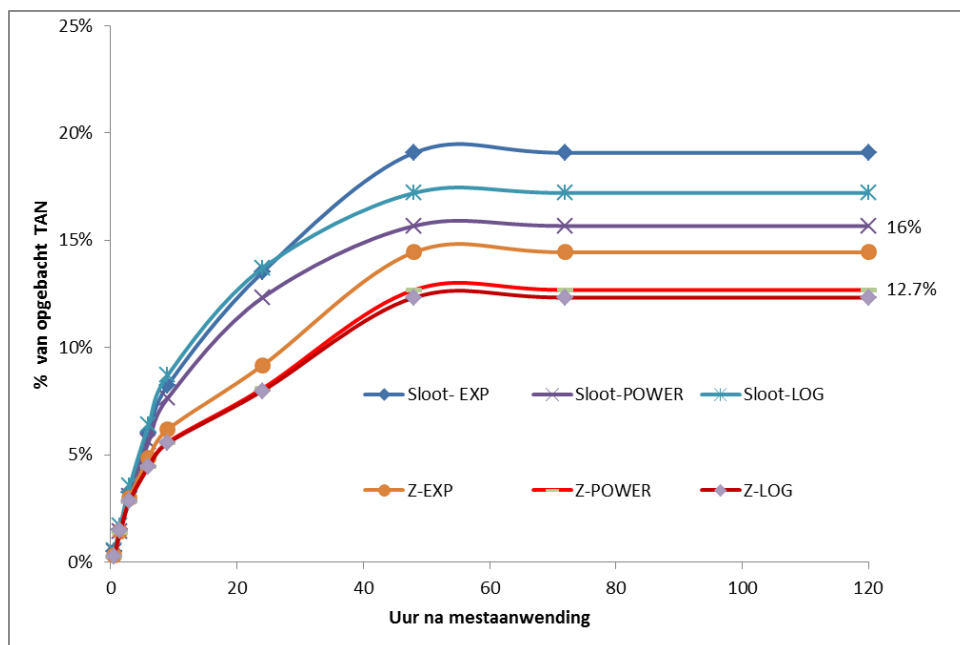
Tabel 6: Mestsamenstellingmetingen. Van de beschikbare metingen werden de gemiddelde resultaten gebruikt.

	Zodenbemester 1	Zodenbemester 2	Slootsmid1	Slootsmid2
Droge stof	64	64	54	61
Gloeirest	16	15	14	14
Organische stof	48	48	40	46
Kali	4.1	4.1	4.2	4
Magnesium	1.2	1.1	1	1.1
Natrium	1.3	1.3	1.2	1.2
pH	7	7	7.1	6.9
Ammonium	1.39	1.39	1.25	1.41
Stikstof	3.33	3.36	2.96	3.3
Fosfaat	1.11	1.06	1.07	1.03

Meer informatie over de mestsamenstelling, de gebruikte machines, de botanische samenstelling van het veld en bemesting gerelateerde parameters is opgenomen in **Bijlage A, Tabel A t/m D**.

5.2 Resultaten

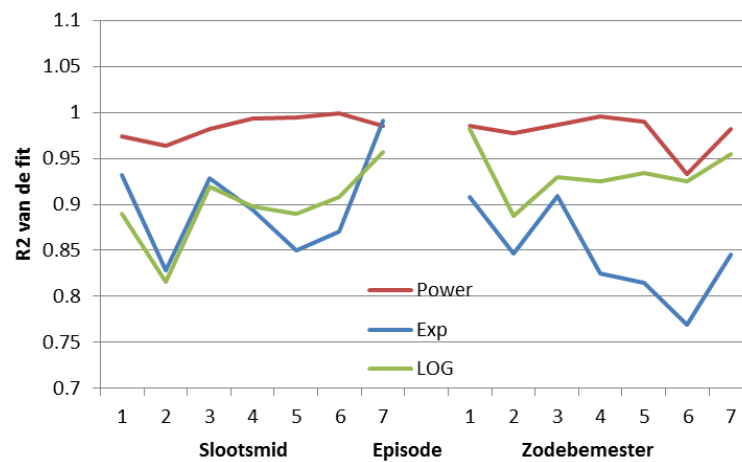
De cumulatieve emissieniveaus voor de zodenbemester en de Slootsmidbemester zijn weergegeven in **Figuur 28**. Hierin zijn de curves weergegeven voor drie verschillende manieren van fitten van de concentratie aan de hoogte (zie paragraaf 2.2). Het blijkt dat, onafhankelijk van de fitmethode, bij dit experiment de cumulatieve emissie van het Slootsmidsysteem boven die van de zodenbemester ligt. De verticale ammoniakconcentratieprofielen laten zien dat na de eerste 48 uur lagere concentraties nabij de grond worden gemeten dan hoger in de mast. Dit duidt erop dat NH_3 wordt gedeponeerd op de vegetatie in plaats van geëmitteerd.



Figuur 28: Emissie als percentage van aangewend Totaal Ammoniakaal Stikstof (TAN), cumulatief voor zodenbemester en Slootsmidbemester. De verschillende lijnen geven de resultaten bij verschillende fit functies voor het concentratieprofiel weer.

De bandbreedte van de verschillende fit methoden is wel relevant indien de getallen in absolute zin worden gebruikt. Hierbij is van belang dat resultaten met de powerfit in Excel bijna altijd een hogere R^2 -waarde geven voor de fit dan de gangbaar gebruikte LN functie (zie **Figuur 29**). Wat ook opvalt is dat een LOG-fitmethode een gemiddeld hogere emissiewaarde oplevert, bij een exponentiële fit is dat nog prominenter. In het kader van de internationale samenwerking voor het Dronten-1-experiment is tevens duidelijk geworden dat een fitoptimalisatie in Excel andere functies oplevert dan een fitoptimalisatie in R of in Matlab. Dat impliceert ook dat als verschillende teams in Europa verschillende software gebruiken de kans groot is dat ze gemiddeld met hogere of lagere emissie waarden komen.

Voor de vergelijking van de emissiegetallen van de zodenbemester en de Slootsmidmachine is het minder belangrijk welke fitfunctie gekozen wordt, de verschillen blijven van dezelfde orde. Maar indien de getallen in absolute zin worden overgenomen om te dienen als input voor emissieregistratie of andere regelgevingsdoeleinden, dan is het meenemen van deze onzekerheden wel van belang.



Figuur 29: R^2 waarden van de verschillende fits voor Slootsmid en zodenbemeste episodes. Bij een R^2 van 1 komen de gefitte trendlijn en de gemeten waarden precies op elkaar te liggen.

6

Discussie en conclusie

Er zijn drie veldexperimenten uitgevoerd waarbij het bemestingssysteem van Slootsmid is vergeleken met een zodenbemester als referentie. De ammoniakconcentratie op bemeste plotjes met een straal van 20 meter en een achtergrondlocatie werden gedurende >96 uur gemeten. Voor alle drie de campagnes werd de ammoniakemissie van de bemeste plotjes berekend uit deze ammoniakconcentraties in combinatie met windprofielmetingen volgens de IHF-methode. Die werd uitgevoerd conform het VERA protocol. Voor de eerste campagne zijn er veel meer metingen beschikbaar, waarbij de resultaten van uitgevoerde mobiele pluimmetingen binnen dit project zijn gebruikt. De uiteindelijke resultaten zijn samengevat in de onderstaande tabel.

Tabel 7: Emissie resultaten voor de drie experimenten en de twee bemesters.

Experiment	Emissiefactor & range	
	Slootsmid	Zodenbemester
Dronten 1	23% (20-26)	16% (13-19)
Dronten 2	32% (19-35)	40% (38-42)
Zwolle	16% (10-16)	13% (13-19)
Gemiddelde	23.7 ± 5 %	23 ± 5 %

Opmerkingen:

1. De aangegeven range is een inschatting van de onnauwkeurigheid bij het gebruik van de getallen ten opzichte van elkaar. Voor de resultaten in absolute zin is de onzekerheidsmarge groter;
2. De hier gerapporteerde waarden zijn niet gecorrigeerd voor displacement height en turbulent transport

Bij het eerste experiment in Dronten, Dronten-1, lag de mest van de zodenbemester diep in het veld en heeft het Slootsmidsysteem een hogere emissiefactor. Dit wordt bevestigd door verschillende sets meetinstrumenten.

Voor het Dronten-2 experiment hebben twee onzekerheden de bepaling van de emissie bemoeilijkt er is een grotere onzekerheid in de hoeveelheid aangewend mest dan normaal omdat de directe meting van deze hoeveelheid niet goed ging. Belangrijker is

het effect van de Schapen die onaangekondigd losgelaten werden vlak bij de testplotjes hebben effect gehad op de plot van zowel Slootsmid als van de zodenbemester voor met name de laatste twee dagen van het experiment;

Het effect van de schapen is gecorrigeerd door de verstoringen in de verticale profielen in meer detail te evalueren. De waarde voor de bemestingshoeveelheid is indirect bepaald door nog een extra stuk mest uit te rijden en daaraan te meten.

Conclusie is dat in dit experiment de emissie van het Slootsmidsysteem onder die van de zodenbemester blijft. Het verschil dat optreedt in de episode 4 en 5 van 3-9 uur na mestaanwending is hiervoor de oorzaak. In deze episode waren de schapen nog geen probleem.

Bij het experiment ten noorden van Zwolle is door een storing in de zodenbemester maar 1.400 in plaats van circa 2.600 kilo mest uitgereden. De consequentie daarvan is dat de mest dieper in de bodem lag en dat de emissie daardoor relatief laag was. Het Slootsmidsysteem ligt met een emissiefactor van 16% boven die van de zodenbemester; 13%. Gezien de onzekerheid in de berekende getallen kan ook gesproken worden van een gelijkwaardige emissiefactor.

Indien het rekenkundig gemiddelde van de drie experimenten als representatief getal geaccepteerd wordt is de conclusie dat met 23% en 23.7% de twee zodenbemester en de Slootsmid machine vergelijkbaar zijn.

Het gaat niet goed in Dronten-1 en we denken te weten hoe dat komt. Bij de andere experimenten is gelijkwaardigheid met de zodenbemester reeel. De windtunneltesten in een eerder onderzoek (zie **Hoofdstuk 1**) suggereren die gelijkwaardigheid ook.

7

Referenties

Denmead, O.T. 1983. *Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field*. p. 133–157. In J.R. Freney and J.R. Simpson (ed). *Gaseous loss of nitrogen from plant–soil systems*. Martinus Nijhoff/Dr W Junk Publishers, The Hague, the Netherlands.

Flesch, T. K., Wilson, J. D., and Yee, E.: *Backward-Time Lagrangian Stochastic Dispersion Models and Their Application to Estimate Gaseous Emissions*, J Appl Meteorol, 34, 1320-1332, Doi 10.1175/1520- 0450 (1995)

Flesch, T. K., Wilson, J. D., Harper, L. A., Crenna, B. P., and Sharpe, R. R.: *Deducing ground-to-air emissions from observed trace gas concentrations: A field trial*, J Appl Meteorol, 43, 487-502, Doi 10.1175/1520-0450(2004).

Huijsmans, J.F.M.; Hol, J.M.G.; Hendriks, M.M.W.B. 2001. *Effect of application technique, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to grassland*. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences. 49: 4, 323-342. 22 ref.

Leuning R.; Freney J.R.; Denmead O.T.; Smith N.P. 1985. *A sampler for measuring atmospheric ammonia flux*. Atmospheric Environment 19: 1117-1124.

Ryden J.; McNeill J.E. 1984. *Application of the Micrometeorological Mass balance Method to the determination of ammonia loss from a grazed sward*. Journal Sci. Food Agric. 35: 1297-1310.

A.Hensen, A.Neftel, D. Famulari, M Carozzi, H.Jonker, J.W.Erisman, Jan Huijsmans Julio Mosquera Egbert Lantinga, Stijn Berkhout, Bronno de Haan, *International Workshop on Ammonia Measurements (IWAM)*, February 2015, ECN-E--14-052.

Bijlage A. Technische- en achtergrondgegevens van de veldproeven ammoniakemissie

Tabel A: Stikstof en mineralengehalten in submonsters per bemester zoals gebruikt tijdens de ammoniakemissie veldproeven (g/ kg product).

Ammoniakemissie								
meting	Bemester	Monster	N-tot	N-NH3	N-Org	P2O5	K2O	pH
Dronten-1 juni 2016	Slootsmid systeem	1	3,84	1,7	2,1	1,21	4,3	
		2	3,53	1,7	1,8	1,08	4,1	
		3	3,83	1,7	2,1	1,37	4,7	7,3
		4	3,79	1,8	2,0	1,31	4,6	7,3
	Zodebemester	1	3,62	1,7	1,9	1,15	4,1	
		2	3,57	1,7	1,9	1,47	4,2	
		3	3,84	1,7	2,1	1,21	4,3	7,3
		4	3,53	1,7	1,8	1,08	4,1	7,3
Dronten-2 Augustus 2016	Slootsmid systeem	1	3,03	1,47	1,56	0,86	3,7	7,2
		2	2,91	1,46	1,45	0,78	3,7	7,3
	Zodebemester	1	2,83	1,41	1,42	0,74	3,5	7,3
		2	2,87	1,42	1,45	0,79	3,5	7,4
Zwolle Oktober 2016	Slootsmid systeem	1	2,96	1,25	1,71	1,07	4,2	7,1
		2	3,30	1,41	1,89	1,03	4,0	6,9
	Zodebemester	1	3,33	1,39	1,94	1,11	4,1	7,0
		2	3,36	1,39	1,97	1,06	4,1	7,0

	Dronten-1		Dronten-2		Zwolle	
	juni 2016		augustus 2016		oktober 2016	
	Zode- bemester	Slootsmid systeem	Zode- bemester	Slootsmid systeem	Zode- bemester	Slootsmid systeem
Gewicht trekker, tank en bemester voor bemesten (kg)	23500	23580 ⁽¹⁾	23383	20900 ⁽¹⁾	16995	22360 ⁽²⁾
Gewicht trekker, tank en bemester na bemesten (kg)	20800	20540 ⁽¹⁾	20480	18020 ⁽¹⁾	15595	18780 ⁽¹⁾
Gebruikte hoeveelheid drijfmest (kg)	2700	3040	2903	2880	1400	2755
Afgelegde weg trekker met bemester in werking (m)	360,3	374,6	406.6	355.7	331.8	345.9
Oppervlakte bemest (m ²)	1369	1463	1525	1316	1244	1314
Mestgift (kg/ha)	19721	20775	19039	21883	11252	20960
Rijsnelheid bemesten (km/h)	4.2	4.1	4.2	4.1	4.2	4.1
Omw. snelheid aftakas trekker (tpm)	540	550	540	550	540	550
Omw.l snelheid pompas tank (tpm)	68	100	68	100	68	100
Werkdiepte bemester (cm)	4 à 5	Op grond aangebr.	4 à 5	Op grond aangebr.	4 à 5	Op grond aangebr.
Oliedruk bemester elementen (bar)	25	-	25	-	25	-
Waterdruk pomp watersprayer (bar)	-	2	-	2	-	2
Gebruikt sproeidotype	-	Teejet wit 11008 VP spleetdop	-	Teejet wit 11008 VP spleetdop	-	Teejet wit 11008 VP spleetdop
Watergift (m ³ /ha)		2		2		2
Tijdstip start werkgang 1 (hh:mm:ss)	7:08:28	7:08:29	10:32:09	10:31:00	12:28:18	12:28:12
Tijdstip stop werkgang 1	7:09:20	7:09:08	10:32:29	10:31:39	12:28:50	12:28:50
Tijdstip start werkgang 2	7:09:56	7:09:54	10:34:08	10:34:00	12:43:30	12:43:30
Tijdstip stop werkgang 2	7:10:38	7:10:31	10:34:46	10:34:39	12:44:05	12:44:06
Tijdstip start werkgang 3	0:00:42	0:00:37	10:35:26	10:35:00	12:44:40	12:44:42
Tijdstip stop werkgang 3	7:11:13	7:11:11	10:35:59	10:35:37	12:45:17	12:45:17
Tijdstip start werkgang 4	7:11:45	7:11:48	10:36:47	10:37:00	12:45:54	12:45:49
Tijdstip stop werkgang 4	0:00:32	0:00:37	10:37:19	10:37:34	12:46:28	12:46:25
Tijdstip start werkgang 5	7:12:36	7:12:40	10:38:04	10:38:05	12:47:08	12:47:06
Tijdstip stop werkgang 5	7:13:13	7:13:20	10:38:30	10:38:34	12:47:38	12:47:39
Tijdstip start werkgang 6	0:00:37	0:00:40	10:39:22	10:39:10	12:48:28	12:48:20
Tijdstip stop werkgang 6	7:14:09	7:14:11	10:39:38	10:39:28	12:49:01	12:48:51
Tijdstip start werkgang 7	7:14:41	7:14:44	10:40:29	10:40:15	12:49:46	12:49:39
Tijdstip stop werkgang 7	0:00:32	0:00:33	10:41:05	10:40:53	12:50:20	12:50:06
Tijdstip start werkgang 8	7:15:38	7:15:38	10:41:52	10:42:00	12:51:05	12:50:56
Tijdstip stop werkgang 8	7:16:14	7:16:06	10:42:25	10:42:35	12:51:33	12:51:22
Tijdstip start werkgang 9	0:00:36	0:00:28	10:43:05	10:43:10	12:52:40	12:52:18
Tijdstip stop werkgang 9	7:17:18	7:17:16	10:43:37	10:43:42	12:53:08	12:52:37
Tijdstip start werkgang 10	7:17:33	7:17:32	10:44:28	10:44:20	12:54:20	12:53:40
Tijdstip stop werkgang 10	0:00:15	0:00:16	10:44:53	10:44:46	12:54:39	12:53:56
Tijdstip start werkgang 11	7:22:11	7:22:22	10:45:40	10:45:34	12:55:46	12:55:08
Tijdstip stop werkgang 11	7:22:45	7:22:57	10:45:57	10:45:51	12:56:04	12:55:14
Totale tijdsduur bemester in bedrijf	0:05:19	0:05:08	0:05:08	0:05:44	0:05:28	0:05:03

¹ Gewichten met lege watertank ² Gewicht inclusief 825 kg water

ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten

Postbus 1
1755 ZG Petten

T 088 515 4949
F 088 515 8338
info@ecn.nl
www.ecn.nl

