

Gasvormige emissies uit het melkveebedrijf van de familie Spruit

II. Praktijkmetingen na het toedienen van mest

J. Mosquera
J.M.G. Hol
P. Hofschreuder

Rapport 565



Gasvormige emissies uit het melkveebedrijf van de familie Spruit

II. Praktijkmetingen na het toedienen van mest

J. Mosquera
J.M.G. Hol
P. Hofschreuder

Rapport 565

Colophon

Dit project werd uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

Title	Gasvormige emissies uit het melkveebedrijf van de familie Spruit. II. Praktijkmetingen na het toedienen van mest.
Author(s)	J. Mosquera, J.M.G. Hol, P. Hofschreuder
A&F number	Rapport 565
ISBN-number	90-6754-982-7
Date of publication	December 2005
Confidentiality	non
Project code.	630.53099.02

Agrotechnology & Food Innovations B.V.
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 475 024
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© Agrotechnology & Food Innovations B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.

This report is authorised by: N.W.M. Ogink



The quality management system of Agrotechnology & Food Innovations B.V. is certified by SGS International Certification Services EESV according to ISO 9001:2000.

Abstract

This report is part II of a series reporting the gaseous emissions (ammonia, greenhouse gases, odour) from the dairy farm Spruit. Here, gaseous emissions from the application of manure onto the field are presented. Two different measurement methods were applied that rely on a different spatial scale: 1) the integrated horizontal flux approach (IHF, large scale, measures the emission from the whole field), and 2) the micrometeorological mass balance method with small circular plots (small scale, measures the emission from small plots). During one of the measurement periods using the micrometeorological mass balance method, two manure application techniques (1: surface spreading following the procedure used at the farm Spruit; 2: band-application of the manure by using a sliding feet machine) were compared. The NH₃ emission (~30% of the applied N) was not significantly different from both application techniques. In general, the measured NH₃ emission showed a large variation, with values as low as 18% of the applied N and as large as 68% of the applied N. Weather conditions (rain, temperature, wind speed) strongly influenced the emission from the fertilized area.

Keywords: emissions, ammonia, manure application, field measurements

Inhoud

Abstract	3
1 Inleiding	7
2 Materiaal en methode	9
2.1 Bedrijfskenmerken en meetomstandigheden	9
2.2 Meetmethoden	9
2.2.1 Fluxraam methode (volvelds)	10
2.2.2 Massabalans methode met proefvelden	13
2.3 Meetapparatuur	15
2.3.1 Fluxraam methode: passieve fluxbuisjes	15
2.3.2 Massabalans met proefvelden: natchemisch (NH ₃ -concentratie) + cup anemometers (windsnelheid)	19
3 Resultaten	21
3.1 Fluxraam methode (volveldsmethode)	21
3.2 Massabalans methode met proefvelden	23
4 Discussie	27
5 Conclusies	29
Literatuur	31
Samenvatting	33
Bijlage A Windsnelheid (fluxraam)	35
Bijlage B Windrichting (fluxraam)	37
Bijlage C Temperatuur (fluxraam)	39
Bijlage D Windsnelheid (proefvelden)	41
Bijlage E Windrichting (proefvelden)	43
Bijlage F Temperatuur (proefvelden)	45

1 Inleiding

In 2004 zijn verschillende metingen begonnen om de nutriëntenstromen op het melkveebedrijf Spruit (Zegveld) te karakteriseren. Gedurende twee jaar (2004-2005) werden, onder andere, de gasvormige emissies (ammoniak, broeikasgassen, geur) uit verschillende bronnen (stal, mesttoediening, mestopslag) gemeten, de kwaliteit van de grond- en oppervlaktewater bepaald (totaal N, totaal P; nitraat gemeten), de samenstelling van het grasgewas bepaald en een integrale schatting van de N-stromen op het bedrijf Spruit uitgevoerd. Daarnaast werd een inschatting van de microbiologische activiteit van de bodem gemaakt en enkele fysisch-chemische parameters gemeten.

Dit rapport is deel II van het project dat door Agrotechnology and Food Innovations werd uitgevoerd om de gasvormige emissies van het melkveehouderijbedrijf van de familie Spruit te meten. Hier worden de ammoniakemissies na het toedienen van mest gepresenteerd. De mesttoediening is afwijkend van de huidige toegestane bemestingsmethode. De regelgeving biedt geen ruimte voor bovengronds breedwerpig toedienen van mest in welke vorm dan ook. Op dit bedrijf wordt de mest altijd bovengronds breedwerpig toegediend. Echter de omstandigheden waarbij de mest wordt uitgereden worden specifiek gekozen (weersomstandigheden zoals weinig wind en vochtige omstandigheden), en de nabehandeling van de mest direct na de mesttoediening wordt ook specifiek gekozen (inregenen met slootwater of afdekken met bagger). In dit deelonderzoek is binnen de beperkingen van het aantal metingen bepaald wat de ammoniakemissie is bij verschillende toevallige varianten van deze bemestingstrategie.

Omdat voor het gepresenteerde onderzoek gebruik werd gemaakt van een meetmethode die uitgebreid in de theorie staat beschreven maar nauwelijks onder praktijkomstandigheden is uitgevoerd, wordt deze uitgebreid beschreven en worden ook aanbevelingen en randvoorwaarden gegeven die voor praktijkmetingen noodzakelijk zijn.

2 Materiaal en methode

2.1 Bedrijfskenmerken en meetomstandigheden

De karakteristieken van de bedrijfsvoering van dit bedrijf die direct betrekking hebben op de gasvormige emissies zijn als volgt samen te vatten:

- Laag eiwitgehalte in het kuilgras
- Bovengronds breedwerpige toediening van rundveedrijfmest in combinatie met inregenen met slootwater en/of baggerspuiten over de toegediende mest

Het lage eiwitgehalte in het kuilgras gecombineerd met eiwitarme krachtvoerders hebben gevolgen voor de mestsamenstelling. Dit komt tot uiting in het lage gehalte aan minerale stikstof in de mest en een andere verhouding mineraal stikstof en totaal stikstof in dezelfde mest.

Het bovengronds breedwerpig toedienen van drijfmest (figuur 1A) wordt uitgevoerd bij specifieke weersomstandigheden (weinig wind, bewolkt, mist, regen) en wordt gebruik gemaakt van inregenen met slootwater en van baggerspuiten (figuur 1B) over de toegediende mest. De nabehandeling van de mest op het land wordt direct na iedere mesttank of gelijktijdig met het bemesten uitgevoerd. Deze uitgebreide werkmethode voor mesttoediening heeft tot doel de benutting van mestvoedingsstoffen door het gras zo optimaal mogelijk te laten zijn.



Figuur 1 Bovengronds breedwerpige mesttoediening (A) en baggerspuiten over de mest (B).

2.2 Meetmethoden

Om de ammoniakemissies na het toedienen van dierlijke mest te bepalen wordt de volveldse meetmethode (fluxraam) gehanteerd. Aangezien volveldse meetmethoden nog niet vaak zijn toegepast om emissies na mesttoediening te bepalen, is een vergelijking met de massabalans methode met proefvelden gemaakt. Deze methode is veelvuldig toegepast in de periode 1989-1994, waardoor de ervaring en de dataset opgedaan met deze methode groot is (Huijsmans, 2003). Beide methoden maken gebruik van hetzelfde principe (massabalans), die gebaseerd is op de wet van behoud van massa: door de horizontale flux opwaarts en benedenwaarts van een bemeste oppervlakte te meten, kan de bronsterkte worden bepaald als het verschil tussen de twee in het vlak geïntegreerde fluxen. De schaal waarbij die twee methoden kunnen worden toegepast is wel verschillend. Hieronder wordt een uitgebreidere beschrijving van beide methoden weergegeven.

2.2.1 Fluxraam methode (volvelds)

De fluxraam methode (Mosquera *et al.*, 2002a; Hofschreuder, 2002) wordt gebruikt om de emissies van het gehele veld te bepalen. Deze methode is gebaseerd op integratie van het product van concentratie en windsnelheid (horizontale flux) min of meer loodrecht op de heersende windrichting en in de hoogte. Voor de fluxraam dient in elk geval de hele pluim te worden bemeten, met ander woorden de concentratieverschil tengevolge van oppervlakte emissies dient zowel zijdelings als in de hoogte naar nul te gaan voor de buitenste meetpunten. Door zowel bovenwinds als benedenwinds van een bron deze methode te gebruiken kan de emissieflux van het tussenliggende gebied worden geschat als:

$$E_{NH_3} = \frac{1}{x} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{i=n} u_i \cdot (c_i^d - c_i^u) \cdot z_i \cdot A$$

Met E_{NH_3} = ammoniakemissie uit het bemeste proefveld [$\mu\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$]

m = aantal masten

n = aantal hoogten in de mast

u_i = windsnelheid [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] op hoogte i

c_i^d = ammoniakconcentratie [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] op hoogte i benedenwinds van de bron

c_i^u = ammoniakconcentratie [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] op hoogte i bovenwinds van de bron

z_i = verticale afstand [m] waarbij de metingen (NH_3 -concentratie, windsnelheid) representatief zijn

A = oppervlakte van het bemeste proefveld [m^2]

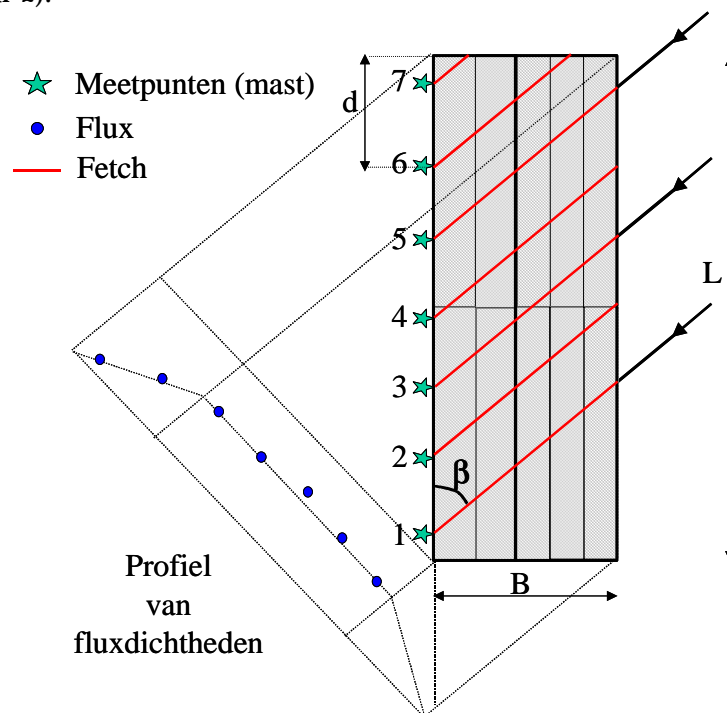
x = fetch (aanstroamlengte langs het bemeste proefveld [m])

Om de fluxraam methode in de praktijk toe te passen moeten we wel rekening houden met de volgende punten:

1. In tegenstelling met de massabalans methode met proefvelden blijft de fetch in de fluxraam methode niet constant.
2. Het meten van fluxen in twee vlakken vergt een grote meetinspanning.

Ad. 1. De fluxraam methode wordt toegepast om de emissies uit een gehele perceel te bepalen. Aangezien het veld (perceel) niet cirkelvormig is en dat het fluxraam buiten het veld wordt geplaatst, kan de aanstroamlengte (fetch) langs de bemeste oppervlakte variëren, afhankelijk van de locatie van de meetpunten en de windrichting (figuur 2). Het is daardoor belangrijk dat de fetch goed gekarakteriseerd wordt. Wanneer de windrichting niet constant is over de gehele meetperiode zal de fetch ook fluctueren. Uit figuur 2 wordt duidelijk dat de fetch voor de meetpunten 1 t/m 5 representatief is voor de emissies uit het bemeste veld. Ook kleine veranderingen in de windrichting zullen geen grote effecten hebben om de fetch, die gelijk is aan $B/\sin(\beta)$, waarbij B de breedte van het veld is, en β de (gemiddelde) hoek tussen de windrichting en de lijn van meetpunten (langs de langste kant van het bemeste veld). De fetch van meetpunten

6 en 7 kan worden bepaald als $d/\cos(\beta)$, waarbij “d” de afstand is tussen het meetpunt en de rand van het veld (figuur 2).



Figuur 2 Aanstroamlengte (fetch) voor verschillende meetpunten in het veld

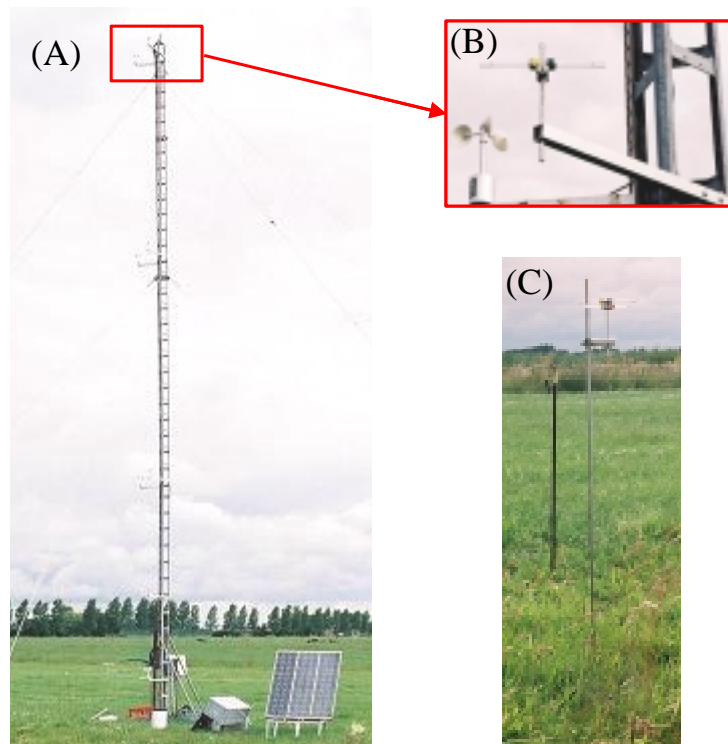
Ad. 2. Als het enigszins mogelijk is, wordt naar reductie van de meetinspanning gestreefd. Voor de fluxmeting in het benedenwindse vlak kan het aantal monsterpunten worden gereduceerd door alleen een horizontale meetlijn op één hoogte en een verticale mast met meetinstrumenten op één plaats, liefst zo dicht mogelijk bij de verwachte pluim-as, te gebruiken. De praktische uitvoering van deze meetmethode komt neer op het benedenwinds plaatsen van een hoge mast (in deze studie is de hoogte 12 m, figuur 3A) waarbij de verdeling van de NH_3 -fluxen in de hoogte (0,4; 1; 2; 4; 8; 12 m) wordt gemeten. Daarnaast worden 6 lage masten benedenwinds van het bemeste veld geplaatst waarbij op 1-2 hoogten (1; 3 m; figuur 3C) de verdeling van de NH_3 -fluxen over de breedte van het perceel wordt gemeten. Aanname bij deze opstelling is dat de profielen in de hoogte op alle meetpunten dezelfde vorm hebben, maar dat het niveau kan variëren en wel evenredig met de verschillen op één hoogte (1m) langs de lage masten. Het is daardoor zeer belangrijk om de waarde van de flux op 1 m hoogte goed te bepalen (bijvoorbeeld met een duplo-meting).

De meetinspanning voor het bovenwindse vlak (achtergrond) kan worden gereduceerd tot één meting van de concentratie en de windsnelheidsprofiel als aan de volgende voorwaarden is voldaan:

- Homogeen concentratieveld in de hoogte en in de breedte.
- Homogeen windsnelheidsprofiel (geen obstakels in de buurt).

Elke verstoring van deze situatie moet tot meer meetinspanning leiden, omdat dan de homogeniteit van het fluxprofiel wordt verstoord. In deze studie werd de achtergrondflux bepaald met behulp van één lage mast (op 1 m hoogte). De flux op andere hoogten wordt geschat met behulp van de gemeten flux en de windsnelheidsprofiel.

De NH₃-fluxen werden bepaald met passieve fluxbuisjes (PAF-buisjes; figuur 3B) in de kruisopstelling (Mosquera *et al.*, 2002a, 2002b; zie 2.3.2).



Figuur 3 Meetopstelling voor NH₃-emissies na mesttoediening (fluxraam methode). (A) Hoge mast; (B) Passieve fluxbuisjes en anemometer; (C) Kleine masten

De totale NH₃-emissie na toediening van de mest werd bepaald door opeenvolgende meetperiodes gedurende maximaal 36 uur uit te voeren. Het betreft één meetperiode tijdens mest uitrijden, één meetperiode na mest uitrijden tot wisseling van meetomstandigheden, één meetperiode tot de ochtend van de volgende dag, en één meetperiode tot het einde van die dag (ca. 17:00 uur). Zoals in de massabalans methode met proefvelden (hoofdstuk 2.2.2), werden ook de opgebrachte mesthoeveelheid (aantal tanken mest), de mestsamenstelling (bemonstering tijdens opzuigen van de mest), bemestingsduur, bemest oppervlak, afstanden tot de meetmasten, windsnelheid op 5 verschillende hoogtes, windrichting, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en neerslag bepaald.

2.2.2 Massabalans methode met proefvelden

In deze methode wordt de emissie van een klein plot (proefveld; breedte < 50 m), gemeten (Huijsmans, 2003). Het proefveld wordt “cirkelvormig” gemaakt door de mest in stroken van verschillende lengten (figuur 4a) toe te dienen. Nadat de helft van het proefveld werd uitgereden, werd meteen midden in het proefveld een mast (centrale mast) geplaatst waarbij de ammoniakconcentratie op verschillende hoogten (logaritmisch verdeeld, op 7 niveaus) kan worden gemeten (figuur 4b). Bovenwinds van de bron wordt een tweede mast (achtergrond mast) geplaatst om de achtergrondconcentratie op verschillende hoogten (alleen 4 meetpunten) te bepalen. Een derde mast met een windvaan en anemometers (weerstation) wordt dichtbij het proefveld geplaatst om de windsnelheid profiel te bepalen. De ammoniakconcentraties werden met gaswasflessen (natchemisch methode; figuur 4c; zie 2.3.1) gemeten.

De bronsterkte werd (per meetperiode) als volgt berekend:

$$E_{NH_3} = \frac{1}{x} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} u_i \cdot (c_i^d - c_i^u) \cdot z_i \cdot A$$

Met E_{NH_3} = ammoniakemissie uit het bemeste proefveld [$\mu\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$]

n = aantal hoogten in de mast

u_i = windsnelheid [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] op hoogte i

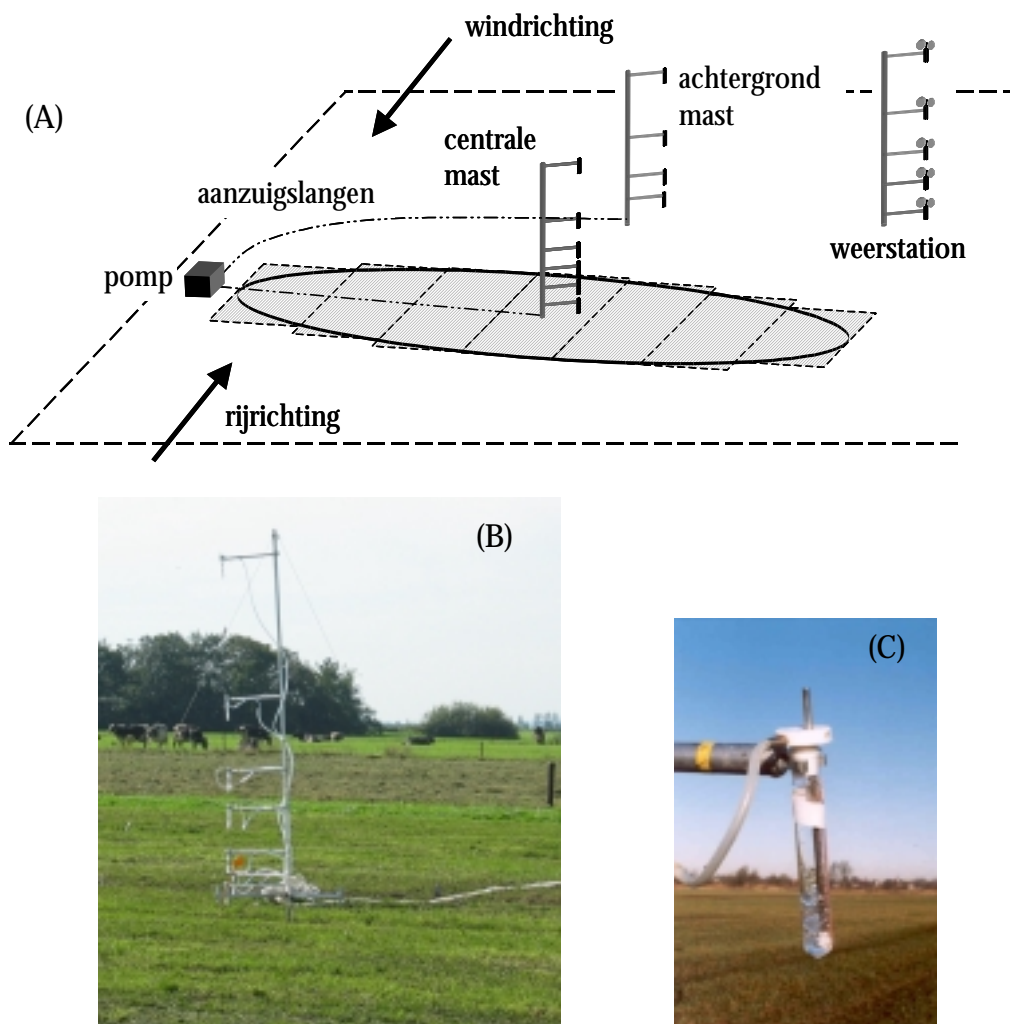
c_i^d = ammoniakconcentratie [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] op hoogte i benedenwinds van de bron

c_i^u = ammoniakconcentratie [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] op hoogte i bovenwinds van de bron

z_i = verticale afstand [m] waarbij de metingen (NH_3 -concentratie, windsnelheid) representatief zijn

A = oppervlakte van het bemeste proefveld [m^2]

x = fetch (aanstroomb lengte langs het bemeste proefveld [m]), in dit geval de straal van het proefveld (constante voor alle meetpunten, onafhankelijk van windrichting)



Figuur 4 Meetopstelling voor de massabalans methode met proefvelden, (A) schematische weergave proefveld, (B) centrale mast met 7 meetpunten en (C) gaswasfles voor invangen NH_3 .

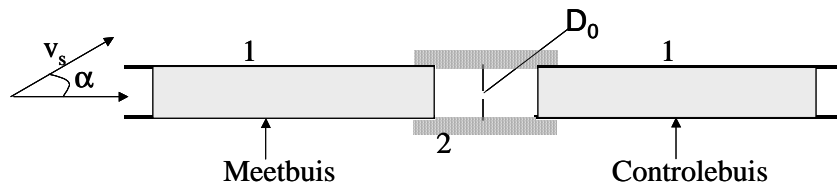
Aangezien het te verwachten is dat de emissie direct na het toedienen van mest hoog zou zijn, werden de monsternamperiodes direct na de mesttoediening kort gehouden. De monsternamperiodes werden ingedeeld in de volgende tijdsperiodes (uren na toediening van de mest): 0-1; 1-3; 3-6; 6-24; 24-48; 48-72 en 72-96 uren. Naast de concentratiemetingen werden ook de opgebrachte mesthoeveelheid (weging mesttank), de mestsamenstelling (bemonstering tijdens opzuigen van de mest), bemestingsduur, bemest oppervlak, afstanden tot de meetmasten, windsnelheid op 5 verschillende hoogtes, windrichting, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en neerslag bepaald.

2.3 Meetapparatuur

2.3.1 Fluxraam methode: passieve fluxbuisjes

Theorie

De passieve fluxbuisjes (PAF) worden uitgebreid besproken in Scholtens *et al.* (2003a, 2003b), Mosquera *et al.* (2002b), Mosquera (2003) en Hofschreuder (2002). Hieronder volgt een korte omschrijving. De conventionele PAF samplers bestaan uit twee glazen buisjes (10 cm lang, 7 mm interne en 10 mm externe diameter) aan elkaar gekoppeld door een verbindingskoppeling met daarin een kritische opening (Scholtens *et al.*, 2003a; figuur 5). De buisjes zijn aan de binnenzijde gecoat met een oxaalzuur om de ammoniak (NH₃) te absorberen. Het eerste buisje dient voor de afvang van ammoniak die door de PAF-sampler stroomt, het tweede buisje (controlebuis) dient ter controle van de doorslag van de eerste buis (meetbuis). Bij volledig afvangst van NH₃ dient de analyse van het tweede buisje een analytische achtergrondwaarde te geven. Het doel van de kritische opening is om de luchtstroom langs de sampler te beperken.



Figuur 5 Schematische tekening van passieve fluxbuisjes (PAF). (1) gecoate glazen buisjes; (2) verbindingskoppeling met kritische opening; D_0 : diameter van de kritische opening; v_s : windsnelheid; α : hoek tussen windrichting en de as van de sampler

Met de PAF-sampler wordt direct een fluxdichtheid gemeten (plaatsing van aparte anemometers en aparte concentratiesamplers is niet nodig). Dit is mogelijk omdat de luchtstroom door de sampler (v_o) een lineaire functie is van de windsnelheid (v_s) buiten de sampler (Scholtens *et al.*, 2003a; Mosquera, 2003), met sampler constante K_s :

$$v_o = v_s \cdot K_s \cdot \sqrt{\cos(\alpha)} = v_s \cdot K_{corr}(\alpha)$$

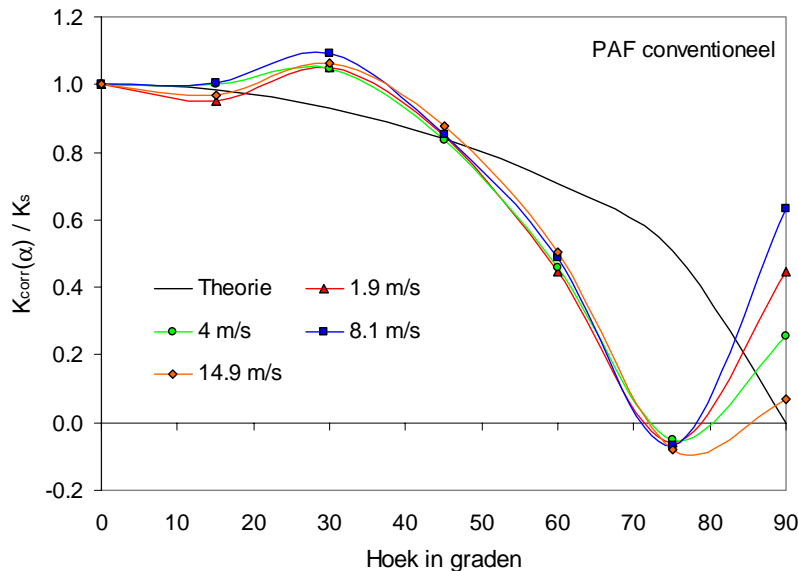
De correctiefactor $K_{corr}(\alpha)$ is een functie van 1) de sampler constante K_s en 2) van de hoek (α) tussen de windrichting en de as van de sampler.

Ad. 1. De in tabel 2 gepresenteerde theoretische en praktijkwaarden voor K_s komen goed overeen voor een diameter van de kritische opening van 0,5 mm, maar voor grotere openingen kunnen de verschillen tussen theorie en praktijk groot zijn. Bij gebruik van nieuwe openingen, moet de sampler constante ook in de praktijk worden bepaald (mbv. windtunnel proeven).

Tabel 1 Theoretische en gemeten waarden van de sampler constante K_s voor verschillende kritische openingen

	0,5 mm	1,0 mm	3,0 mm
Theorie	0,75	0,83	0,92
Gemeten	0,75	0,68	0,82

Ad. 2. Uit windtunnel proeven blijkt de respons van de sampler echter niet perfect overeen te komen met de wortel uit de cosinus (figuur 6; Scholtens *et al.*, 2003b; Wagemans en Mosquera, 2003). Opvallend is de sterke afwijking van de respons voor hoeken tussen 60-90°, en dat alleen voor hoeken tussen 0-15° de theorie en de resultaten van de windtunnelproeven wel goed met elkaar overeenkomen. Dit zou betekenen dat passieve fluxsamplers alleen kunnen worden gebruikt wanneer de wind langs de as van de sampler waait.



Figuur 6 Theoretische hoekafhankelijkheid van een conventionele passieve fluxbuisje (PAF) sampler vergeleken met de gemeten waarde (windtunnel proeven) .

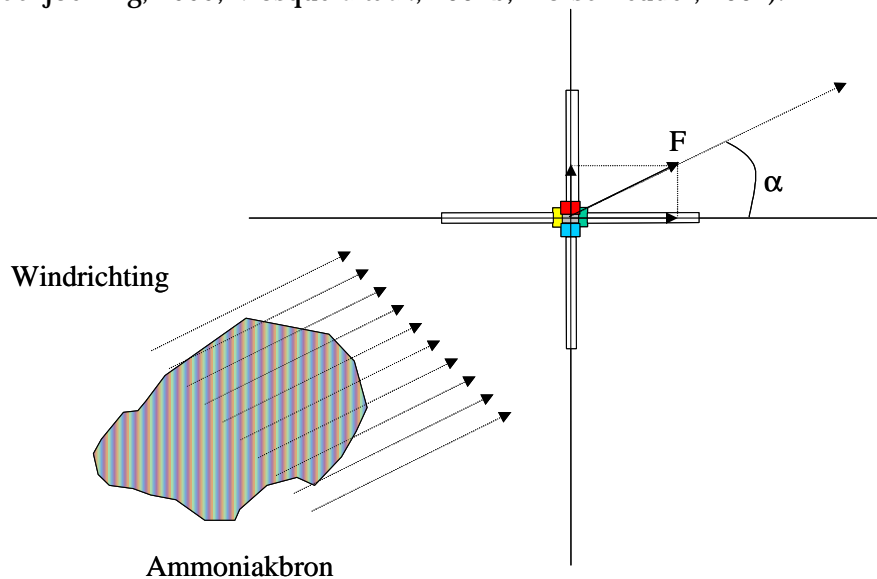
De gemiddeld fluxdichtheid voor deze sampler (PAF conventioneel; F_{conv} [$\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$]) kan worden berekend als:

$$\overline{F_{conv.}}(\alpha) = \frac{q}{\frac{1}{4}\pi \cdot D_0^2 \cdot K_s \cdot t} \cdot \frac{\overline{v_s} \cdot n}{\sum_{j=1}^n (v_s^j \cdot \sqrt{\cos(\alpha_j)})}$$

- Met:
- q: bemonsterde hoeveelheid ammoniak in de buisjes [μg]
 - v_s : windsnelheid gedurende tijdstip j [m s^{-1}]
 - v_s^j : gemiddelde windsnelheid [m s^{-1}]
 - α_j : hoek tussen windrichting en de as van de sampler gedurende tijdstip j [graden]
 - α : gemiddelde hoek tussen windrichting en de as van de sampler [graden]
 - D_0 : diameter van de kritische opening [m^2]
 - t: meetduur [s]
 - n: aantal metingen (tijdstip) voor de windsnelheid/windrichting

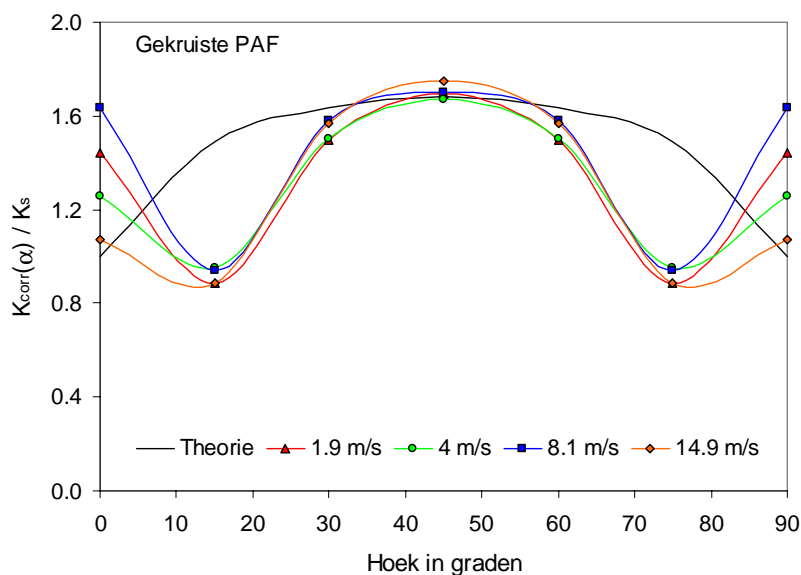
Figuur 6 laat ook zien dat de effecten tussen 30-45° (respons boven theoretische verwachtingen) en tussen 45-60° (respons onder theorie) elkaar lijken te neutraliseren. Om dit voordeel te

gebruiken wordt in de huidige praktijkmetingen gebruik gemaakt van twee conventionele PAF samplers die loodrecht tegen elkaar zijn geplaatst (kruisvormige PAF sampler; figuur 7; Schjoerring, 1995; Mosquera *et al.*, 2002b; Hofschreuder, 2002).



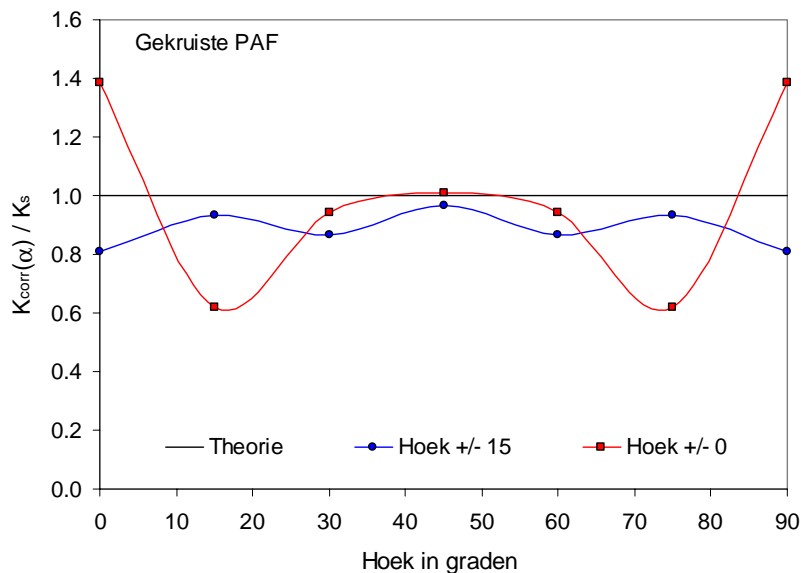
Figuur 7 Passieve fluxsampler (PAF) in zijn gekruiste vorm.

Op basis van de windtunnelmetingen die werden uitgevoerd om de hoekafhankelijkheid van de conventionele PAF sampler kan de respons van de kruisvormige PAF (theoretisch) worden bepaald. Figuur 8 laat zien dat de respons van de kruisvormige PAF sampler dicht bij de theorieverwachtingen komt voor hoeken tussen 30-60°, terwijl voor hoeken tussen 0-30° of tussen 60-90° nog grote afwijkingen te zien zijn. Dat betekent dat het plaatsen van de PAF sampler (gekruste vorm) ten opzicht van de windrichting van groot belang is.



Figuur 8 Theoretische hoekafhankelijkheid van een passieve fluxbuisje (gekruste vorm) vergeleken met de gemeten waarde (windtunnel proeven).

Bij constante windrichting is de afwijking beperkt wanneer de windrichting een hoek van ca. 30-60° geeft met de as van de PAF sampler. Buiten dit gebied is de onzekerheid in de resultaten groot (tot 40% in sommige gevallen). De windrichting zal meestal niet constant blijven, en daardoor zullen de afwijkingen gedeeltelijk uitgemiddeld kunnen worden. Wanneer de windrichting fluctueert met een hoek van ±15° (neutrale tot onstabiele omstandigheden), blijft de afwijking tussen de samplerrespons en de theorie beperkt (<15%) voor hoeken tussen 15-75°.



Figuur 9 Afwijkingen tussen theorie en respons van een gekruiste PAF wanneer de windrichting constant blijft (hoek +/- 0°) of fluctueert (hoek +/- 15°)

Voor de gekruiste PAF samplers kan de fluxdichtheid (F_{kruis} [$\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$]) als volgt worden bepaald:

$$\overline{F_{\text{kruis}}}(\alpha) = \frac{q}{\frac{1}{4}\pi \cdot D_0^2 \cdot K_s \cdot t} \cdot \frac{\overline{v_s} \cdot n}{\sum_{j=1}^n (v_s^j \cdot (\sqrt{\cos(\alpha_j)} + \sqrt{\sin(\alpha_j)}))}$$

Praktische invulling van de theorie

Uit deze resultaten kan het volgende worden geconcludeerd:

1. Gezien de gunstige resultaten van de gekruiste sampler ten opzichte van een conventioneel PAF (enkelvoudige) sampler, is ervoor gekozen om de gekruiste sampler te gebruiken voor praktijkmetingen.
2. Het is aanbevolen om kritische openingen met diameters kleiner dan 3,0 mm te gebruiken, ook bij lage windsnelheden.
3. Plaats de buisjes zo ten opzichte van de windrichting, dat deze omstreeks een hoek van 45° maakt met twee buisjes. De meetfout is zo het kleinst en de kans dat de wind zich buiten de bestreken sector van 90° beweegt is zo klein mogelijk.

4. Plaats altijd een registratie van de windrichting bij de meetopstelling om te kunnen controleren of de meting wel goed is verlopen en bij grote variatie in windrichting te kunnen bepalen welke buisjes belast zijn.
5. Plaatsing van windsnelheidsmeters naast het profiel van fluxbuisjes in de hoogte is alleen nodig als grote nauwkeurigheid wordt gewenst. Dit maakt bepaling van de exacte waarde van de sampler constante mogelijk en vormt een controle op de integratie van de flux in de verticaal, omdat uit het windsnelheidsprofiel en het verticale fluxprofiel ook een concentratieprofiel kan worden geschat.
6. Gebruik de benedenwindse buisjes om te controleren of geen belangrijke doorslag heeft plaatsgevonden.
7. Een aantal niet gebruikte buisjes zal in het lab worden geanalyseerd om de “nul” waarde te bepalen. Alle gebruikte buisjes worden gecorrigeerd voor deze “nul” waarde.

Chemische analyses

Voor de analyse van de hoeveelheid ingevangen ammoniak in de fluxbuizen wordt gebruik gemaakt van een HPLC (High Performance Liquid Chromatography; NEN 6472). Deze is zeer geschikt voor om zeer lage concentraties te analyseren. De analyses zijn uitgevoerd in het chemisch laboratorium van A&F.

2.3.2 Massabalans met proefvelden: natchemisch (NH₃-concentratie) + cup anemometers (windsnelheid)

NH₃-concentratie

De natchemisch methode wordt uitgebreid beschreven in Denmead (1983) en Ryden en McNeill (1984). Met behulp van een pomp wordt lucht met een constante luchtstroom (1-4 l.min⁻¹) door de flesjes (100-cm³ flesjes, met 0,02 M HNO₃ als opvangvloeistof) gezogen, waarbij de ammoniak wordt opgevangen. De monsters worden getransporteerd naar het chemisch laboratorium van A&F, waar ze voor ammonium (NH₄⁺) met behulp van een HPLC worden geanalyseerd (NEN 6472). Uit deze concentratie en de luchtstroom door het flesje (figuur 4c) is de ammoniakconcentratie berekend.

Windsnelheidsprofiel en windrichting

De windsnelheid wordt gemeten met gekalibreerde cupanemometers die op verschillende hoogtes zijn geplaatst. De windrichting wordt op 1 hoogte bepaald. Alle windsnelheden en de windrichting worden met behulp van een datalogger geregistreerd waarbij de gegevens iedere 10 minuten worden opgeslagen.

3 Resultaten

3.1 Fluxraam methode (volveldsmethode)

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de meetomstandigheden gedurende de verschillende experimenten met de fluxraam methode. In totaal zijn 4 experimenten uitgevoerd met mest uit de melkveebedrijf van de familie Spruit (bovengronds breedwerpige toediening van rundveedrijfmest in combinatie met inregen met slootwater en/of baggerspuiten over de toegediende mest). Tijdens proef 1 veranderde de windrichting sterker dan verwacht volgens de weersvoorspellingen, met als gevolg dat de meetopstelling buiten de pluim van de veldemissies bleek te vallen. Om die reden is proef 1 niet te gebruiken voor de emissieberekeningen. Dit was ook het geval voor perioden 3 en 4 van proef 2, waardoor alleen de twee eerste meetperioden (12 uren) werden gebruikt om de emissies te bereken. De karakteristieken van de fluxraam (aantal masten, meethoogten) waren voor alle proeven vergelijkbaar. In proef 4 werd een extra meetpunt (meethoogte) aangebracht om zowel benedenwinds als bovenwinds het fluxprofiel beter te kunnen schatten. Een belangrijke verschil tussen alle proeven is het tijd van mest uitrijden (begin metingen): proef 2 werd vroeg 's ochtends uitgevoerd, proef 3 's middags, en proef 4 laat 's avonds. Dit kan van belang zijn aangezien NH₃-emissies afhankelijk zijn van de klimaatomstandigheden tijdens en na mest uitrijden (Huijsmans, 2003). Uit tabel 2 blijkt dat de windsnelheid in de eerste 12 uren van proef 2 hoger was dan voor proeven 3 en 4 (die vergelijkbaar waren), hoewel het verschil niet erg groot was. Wat temperatuur betreft, was proef 4 op een wat koelere periode uitgevoerd dan proeven 2 en 3. Tenslotte, veel regen is gevallen binnen de eerste 12 uren na mest uitrijden in proef 3, terwijl geen regen werd gemeten in de eerste perioden (tot 20 uren na mest uitrijden) van proeven 2 en 4. In bijlagen A-C worden het verloop van de windsnelheid, windrichting en temperatuur met de tijd grafisch weergegeven.

Tabel 2 Meetomstandigheden

Proef	Meethoogten grote mast [m]	Meethoogten achtergrond [m]	Begin metingen	Uren na mesttoediening	Windsnelheid (2 m; [m s ⁻¹])	Temperatuur [°C]	Regen [mm]
1 ^(*)	1; 2; 4; 8; 12	1	17-3-2004 16:45	---	---	---	---
2	1; 2; 4; 8; 12	1	18-6-2004 08:15	0-5	3,4	18,8	0,0
				5-12	4,4	17,4	0,0
3	1; 2; 4; 8; 12	1	12-8-2004 15:00	Geaccumuleerd	---	---	0,0
				0-4	2,4	20,3	0,2
				4-7	1,7	17,3	0,0
				7-18	3,4	16,0	19,0
				18-29	5,3	17,7	8,8
4	0,4; 1; 2; 4; 8; 12	1; 3	3-4-2005 21:15	Geaccumuleerd	---	---	28,0
				0-13	2,0	10,6 (**)	0,0 (**)
				13-19	5,3	17,4 (**)	0,0 (**)
				19-36	2,9	10,0 (**)	5,0 (**)
				36-47	4,7	10,2 (**)	0,0 (**)
				Geaccumuleerd	----	----	

(*) In proef 1 en in perioden 3-4 van proef 2, wind uit de verkeerde hoek, geen data beschikbaar

(**) Gegevens uit het meteorologische station in Wageningen

De mestgift en mestsamenstelling zijn ook belangrijke factoren die de NH₃-emissie kan bepalen. In tabel 3 worden de belangrijkste bemestingsomstandigheden per proef weergegeven. Aangezien bij bovengronds breedwerpig toegediende mest de verdeling van de mest niet overal gelijk is, is het oppervlak van een bemest perceel een onnauwkeurige parameter. Om de hoeveelheid mest die werd toegediend (mestgift) te bepalen (er was dus niet gewogen), werd als uitgangspunt genomen dat 1 tank mest 6 m³ mest bevatte. Uit tabel 3 blijkt dat de mestsamenstelling vergelijkbaar was voor alle meetperioden, hoewel de mestgift in proef 4 lager was dan in proeven 2 en 3. Zoals in tabel 2 werd aangegeven, binnen 12 uren na de start van proef 3 viel veel regen, in tegenstelling met proeven 2 en 4 waarbij geen of bijna geen regen werd gemeten tot ongeveer 19 uren na mest uitrijden.

Tabel 3 Bemestingsgegevens per proef

Proef	Bemest oppervlak [ha]	Mestgift [m ³ ha ⁻¹]	Mestsamenstelling			Werkmethode mesttoediening
			N-totaal [g kg ⁻¹]	N-mineraal [g kg ⁻¹]	Drogestof [g kg ⁻¹]	
1	---	---	---	---	---	---
2	3,85	15,6	3,9	1,4	108	water ¹ bagger ²
3	3,85	15,6	3,4	1,3	88	water ¹ regen ³
4	3,70	11,4	3,7	1,5	95	water ¹

¹ na iedere tank mest werd direct een tank water over het bemeste deel toegediend

² na ca. 2 uur na de start van de proef werd gestart met baggerspuiten waarbij ¾ deel van het totale bemeste oppervlak met bagger werd bedekt

³ binnen 12 uur na toediening viel veel regen

In tabel 4 worden de belangrijkste meetresultaten gepresenteerd. Uit tabel 4 blijkt dat de NH₃-emissie na het uitrijden van mest een grote variatie vertoont, met waarden zo laag als 18% (proeven 2 en 3) en zo hoog als 68% (proef 4). Er zijn echter een paar kantekeningen voor de resultaten uit deze proeven.

- Proef 2 is gebaseerd op metingen gedurende 12 uren, waardoor de verwachting is dat de gemeten emissie in proef 2 een onderschatting is van de werkelijke emissie. De vergelijking van de emissies uit proeven 2 en 4 gedurende de eerste ca. 12 uren ondersteunt deze inschatting: beide proeven geven in die periode ongeveer hetzelfde emissieniveau (18% uit proef 2, 26% uit proef 4). Daarmee is natuurlijk niet gezegd dat de emissie uit proef 2 ook tot een totaal van 68% zal uitkomen zoals bij proef 4.
- Voor proef 2 en 3 geldt werd de emissie bepaald met 5 meetpunten waarbij het laagste meetpunt 1 m hoog was. Uit simulaties van het fluxprofiel blijkt dat het niet meten van de emissie dicht bij de grond de totale emissie duidelijk kunnen beïnvloeden (uit de simulaties blijkt de totale emissie met 25% moet worden verhoogd). Hiervoor is in proef 4 een extra meetpunt opgenomen die de emissie op 0,4 m bepaald.
- Voor alle proeven geldt dat de hoeveelheid mest die werd toegediend (mestgift), niet gewogen was. Aangenomen was dat de tankmest vol was vóór de bemesting, en helemaal leeg na de bemesting. Een lagere mestgift zou de resultaten (emissie) in tabel 4 omhoog brengen.

Tabel 4 NH₃-emissie per proef en meetperiode

Proef (*)	Begin datum	Uren na mesttoediening	Emissie kg NH ₄ -N ha ⁻¹	Emissie % opgebrachte NH ₄ -N	Emissie % opgebrachte N-totaal
1	17-3-2004 16:45	---	---	---	---
2	18-6-2004 08:15	0-5	1.1	5.4	1.9
		5-12	2.8	13.1	4.6
		---	---	---	---
		---	---	---	---
		Geaccumuleerd	3.9	18.5	6.5
3	12-8-2004 15:00	0-4	1.6	7.6	3.0
		4-7	1.2	5.9	2.3
		7-18	0.1	0.7	0.3
		18-29	0.7	3.5	1.4
		Geaccumuleerd	3.7	17.8	6.9
4	3-4-2005 21:15	0-13	4.4	26.3	10.5
		13-19	4.1	24.6	9.8
		19-36	1.9	11.6	4.6
		36-47	1.0	5.9	2.3
		Geaccumuleerd	11.5	68.4	27.3

(*) In proef 1 en in perioden 3-4 van proef 2, wind uit de verkeerde hoek, geen data beschikbaar

Proef 3 is uitgevoerd onder regenachtige omstandigheden. In periode 3 was de emissie nihil, dit kan worden verklaard door de hevige regenval die binnen de eerste 12 uren na het toedienen van de mest viel. Voordat de mest in proef 4 kon worden uitgereden, moest worden gewacht (ongeveer 2 weken) op een voor de metingen juiste windrichting. Daardoor was het gras tijdens de metingen wat langer dan gebruikelijk. Bij de keuze van het moment van uitrijden werd door Theo Spruit geanticipeerd op regenval gedurende de periode direct daarna. De regen bleef echter uit, en bovendien werd de dag daarna een redelijk warme dag met veel wind te zijn. De combinatie van weersomstandigheden en grashoogte zou de relatief hoge emissie (68% van het opgebrachte NH₄-N) kunnen verklaren. Daarbij dient te worden opgemerkt dat de wijze van toediening en de keuzevrijheid op dat moment niet afweken van de perioden daarvoor. Deze resultaten laten zien dat de meetomstandigheden tijdens en na mesttoediening een grote rol spelen in de bepaling van de NH₃-emissies.

3.2 Massabalans methode met proefvelden

In totaal zijn twee proeven uitgevoerd met de massabalans methode met ieder 2 proefvelden. In 2004 werden beide proefvelden bemest met dezelfde soort mest, van het melkveebedrijf van de familie Spruit. In 2005 werd een proefveld (veld 1) bemest met mest uit het melkveebedrijf van de familie Spruit (bovengronds), en het andere proefveld (veld 2) met mest uit de proefboerderij Zegveld (conventionele mest; sleepvoetmachine). In tabel 5 worden de belangrijkste bemestingsomstandigheden per proef en per veld weergegeven. De mestgift werd bepaald door vóór en na de bemesting van ieder veld de mesttank te wegen. Door een defecte weegbrug moest de mestgift in proef 1 worden ingeschat. Hierbij werd een volle mesttank met een capaciteit van 6 m³ aangenomen, en dat de instelling ongeveer 10 m³ ha⁻¹ was. Uit tabel 5 blijkt dat de

samenstelling van de mest uit het melkveebedrijf van de familie Spruit vergelijkbaar was voor beide proeven, hoewel de mestgift in proef 2 lager was dan in proef 1. Zowel de mestgift als de mestsamenstelling van de mest uit de proefboerderij Zegveld waren hoger dan uit Spruit.

Tabel 5 Bemestingsgegevens per proef

Proef (veld)	Bemest oppervlak [ha]	Mestgift [m ³ ha ⁻¹]	Mestsamenstelling			Werkmethode mesttoediening
			N-totaal [g kg ⁻¹]	N-mineraal [g kg ⁻¹]	Drogestof [g kg ⁻¹]	
1 (1)	0,21	11,8 ^(*)	2,9	1,3	61	water ¹
1 (2)	0,22	11,4 ^(*)	2,9	1,3	61	water ¹
2 (1)	0,32	9,6	2,5	1,2	87	water ¹
2 (2)	0,15	16,0	3,6	1,6	47	---

¹ na iedere tank mest werd direct een tank water over het bemeste deel toegediend

^(*) mestgift ingeschat omdat weegbrug kapot was

Tabel 6 Meetomstandigheden

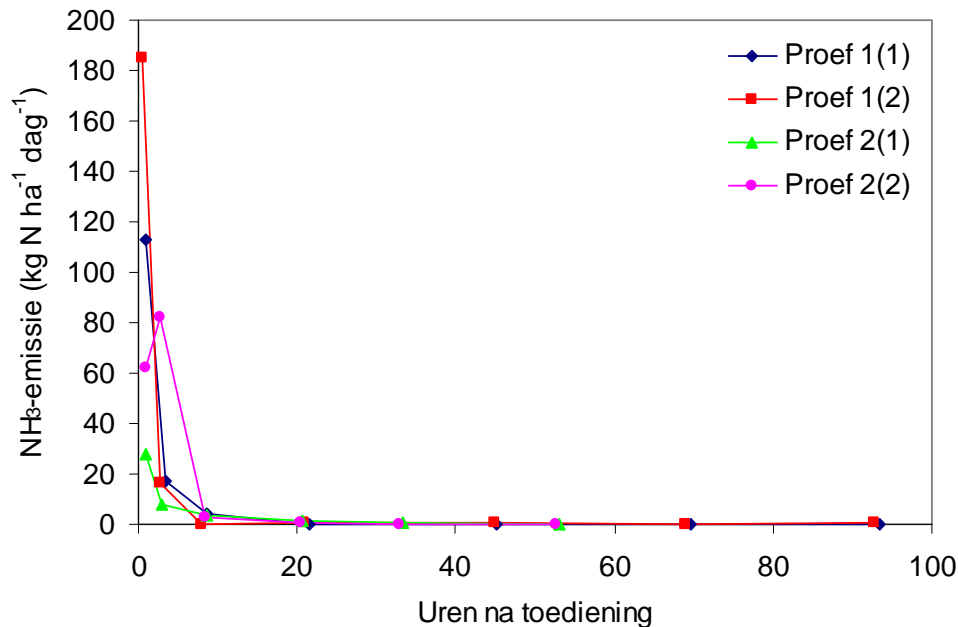
Proef (veld)	Meethoogten centrale mast [m]	Begin metingen	Uren na mesttoediening	Windsnelheid (1,5 m; [m s ⁻¹])	Temperatuur [°C]	Regen [mm]
1 (1)	0,27; 0,33; 0,57; 0,97; 1,33; 2,99; 3,33	16-9-2004 11:37	0-0,9	3,2	---	0,0
			0,9-3,5	3,4	18,5	0,0
			3,5-8,5	1,7	15,0	0,0
			8,5-21,5	2,6	11,9	0,0
			21,5-45	2,7	12,7	0,0
			45-69,7	3,4	15,8	0,0
			69,7-93,5	3,4	15,8	0,6
	Geaccumuleerd	---	---	0,6		
1 (2)	0,27; 0,33; 0,57; 0,97; 1,33; 2,99; 3,33	16-9-2004 11:58	0-0,4	3,2		0,0
			0,4-2,8	3,3	18,5	0,0
			2,8-7,9	2,0	15,6	0,0
			7,9-20,8	2,5	10,6	0,0
			20,8-44,9	2,7	12,7	0,0
			44,9-68,9	3,4	15,7	0,0
			68,9-92,9	3,4	15,8	0,6
	Geaccumuleerd	---	---	0,6		
2 (1)	0,28; 0,60; 1,02; 2,04; 3,38	22-7-2005 12:00	0-1,0	4,3	15,5	0,0
			1,0-3,1	4,4	15,6	0,0
			3,1-8,7	4,7	15,1	0,0
			8,7-20,7	1,8	12,8	0,0
			20,7-33,3	4,3	16,9	0,0
			33,3-53,0	1,1	15,5	0,0
				Geaccumuleerd	---	---
2 (2)	0,28; 0,56; 1,00; 2,01; 3,34	22-7-2005 12:15	0-1,0	4,6	15,4	0,0
			1,0-2,7	4,3	15,7	0,0
			2,7-8,3	4,7	15,0	0,0
			8,3-20,5	1,8	12,8	0,0
			20,5-32,9	4,3	17,0	0,0
			32,9-52,5	1,1	15,5	0,0
				Geaccumuleerd	---	---

In beide proeven werden de proefvelden rond 12:00 bemest (tabel 6). Door het beperkte oppervlak van een proefveld konden met de vacuümtank die werd gebruikt voor bovengronds breedwerpige mesttoediening slechts 3 stroken naast elkaar worden bemest (15 m werkbreedte). In plaats van een cirkelvormig proefveld werd een min of meer vierkant proefveld uitgereden. De sleepvoetenmachine had een werkbreedte van 5 m waardoor wel een cirkelvormig proefveld kon worden aangelegd. Bij sterk variërende windrichting zal de onnauwkeurigheid bij de bepaling van de fetch toenemen bij het vierkante proefveld. De meetomstandigheden (temperatuur, windsnelheid) waren voor beide proeven vergelijkbaar (zie ook bijlagen D-F). In tabel 7 worden de belangrijkste meetresultaten gepresenteerd. De NH₃-emissie uit de mest volgens methode “Spruit” was vergelijkbaar in beide proeven, en varieerde tussen 25-35%. Opvallend is het lage NH₃-emissieniveau gemeten na bovengronds breedwerpig mesttoediening met mest volgens methode “Spruit”, die vergelijkbaar was met de emissie gemeten na toediening van mest “Zegveld” met de sleepvoetmachine.

Tabel 7 NH₃-emissie per proef en meetperiode

Proef (veld)	Begin datum	Uren na mesttoediening	Emissie kg NH ₄ -N ha ⁻¹	Emissie % opgebrachte NH ₄ -N	Emissie % opgebrachte N-totaal
1 (1)	16-9-2004 11:37	0-0,9	3,4	21,1	9,9
		0,9-3,5	1,5	9,1	4,3
		3,5-8,5	0,7	4,2	2,0
		8,5-21,5	0,1	0,7	0,3
		21,5-45	0,1	0,5	0,3
		45-69,7	0,1	0,4	0,2
		69,7-93,5	0,0	0,1	0,0
	Geaccumuleerd	5,7	36,0	17,0	
1 (2)	16-9-2004 11:58	0-0,4	2,2	14,3	6,8
		0,4-2,8	1,3	8,3	3,9
		2,8-7,9	0,0	0,2	0,1
		7,9-20,8	0,4	2,3	1,1
		20,8-44,9	0,6	3,8	1,8
		44,9-68,9	0,0	0,0	0,0
		68,9-92,9	0,3	2,2	1,0
	Geaccumuleerd	4,8	31,1	14,7	
2 (1)	22-7-2005 12:00	0-1,0	0,9	7,4	3,6
		1,0-3,1	0,5	4,5	2,2
		3,1-8,7	0,7	5,6	2,7
		8,7-20,7	0,5	4,6	2,2
		20,7-33,3	0,3	2,5	1,2
		33,3-53,0	0,2	1,7	0,8
		Geaccumuleerd	3,1	26,2	12,8
2 (2)	22-7-2005 12:15	0-1,0	2,0	8,1	3,5
		1,0-2,7	4,6	18,6	8,0
		2,7-8,3	0,5	1,9	0,8
		8,3-20,5	0,2	0,7	0,3
		20,5-32,9	0,0	0,0	0,0
		32,9-52,5	0,1	0,3	0,1
		Geaccumuleerd	7,4	29,5	12,8

Door de intensieve meetfrequentie bij de proefvelden is het mogelijk het verloop van de emissiesnelheid na toediening van de mest en na toediening van het water te zien (figuur 9). Het water werd na de eerste meetperiode over de mest toegediend. Het verloop van de emissie is zoals verwacht, namelijk een zeer sterk aflopende emissie in de loop van de tijd.



Figuur 10 Verloop emissiesnelheid met de tijd

Het emissieverloop van de sleepvoetenmachine (proef 2 (2)) is afwijkend ten opzichte van de overige 3 gepresenteerde emissieverlopen. Een dergelijk verloop (de hoogste emissie in de periode 1 tot 3 uur na mesttoediening) komt echter vaker voor. Over het algemeen kan worden gesteld dat 70 tot 80 % van de totale emissie in de eerste 9 uur na mesttoediening plaats vindt, waarbij de emissie het hoogst is in de eerste uren na mesttoediening (zie figuur 10). Dit betekent bovendien dat alle maatregelen om de ammoniakemissie te reduceren na de mesttoediening snel (direct) moeten worden uitgevoerd.

4 Discussie

In tabel 8 wordt een overzicht gegeven van relevante experimenten waarbij de NH₃-emissie na mesttoediening werd bepaald. Uit de statische analyse die op een deel van experimenten werd uitgevoerd (Huijsmans, 2003) blijken o.a. windsnelheid, temperatuur, bewolgingsgraad (instraling) gedurende en na toediening, en toegediende hoeveelheid NH₄-N (combinatie van mestgift en NH₄-N gehalte in de mest) invloedsfactoren te zijn die aantoonbaar invloed hebben op de emissie. Alle in de tabel genoemde emissiebeperkende bemestingsmethoden hebben een grote variatie in emissie. Dit wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt, doordat de invloedsfactoren die de emissie beïnvloeden ook zeer goed de mest kunnen bereiken (de mest ligt boven de grond), waardoor de interactie tussen deze invloedsfactoren de uiteindelijke emissie sterk kan laten variëren. Deze invloedsfactoren kunnen elkaar versterken, waardoor de emissie zeer hoog kan oplopen, maar ook tegenwerken, waardoor de emissie juist lager uit komt.

Tabel 8 Samenvatting van resultaten van vergelijkbare experimenten waarbij de NH₃-emissie na mesttoediening werd bepaald.

Mesttoedieningsmethode	Aantal metingen	Emissie als % van opgebracht NH ₄ -N	Referentie
1 Spruit (N-arm+water/bagger)	6	18 - 68	Huidig onderzoek
2 N-arme mest (Vel& Vanla)	4	46 - 72	Huijsmans <i>et al.</i> (2004)
3 Sleepvoetenmachine	29	8 - 43	Huijsmans (2003)
4 Water na mest (duo-spray)	5	21 - 62	Mulder en Huijsmans (1994)
5 Bovengrond breedwerpig (referentie)	73	27 - 100	Huijsmans (2003), Huijsmans (persoonlijke mededelingen)

De bemestingsmethode Spruit maakt over het algemeen gebruik van de volgende invloedsfactoren die een lagere emissie tot gevolg kunnen hebben: lage windsnelheid, beperkte instraling (schemering), inregelen met water en/of bagger en lage NH₄-N gift (door laag NH₄-N gehalte in de mest). Het bovengronds breedwerpig toedienen van de mest zal, integendeel, de emissie verhogen ten opzichte van de huidige emissiearme technieken (sleepvoetenmachine en zodenbemester) omdat het emitterend oppervlak groter is. De combinatie van deze factoren resulteerde in een emissie die varieerde tussen 18-68% van het opgebrachte NH₄-N. Deze metingen geven eenzelfde beeld als bereikt werd met de “water na mest (duo-spray)” methode (water direct over de mest spreiden tijdens het uitrijden) onder willekeurige weersomstandigheden. Er zijn echter twee redenen waardoor de verwachting is dat de gevonden grenswaarden voor Spruit, die afkomstig zijn van metingen met de fluxraam methode, een onderschatting zijn van de werkelijke emissie. Ten eerste, bij de metingen met de fluxraam methode werd de hoeveelheid mest die toegediend werd, niet gewogen. Om de mestgift te bepalen werd aangenomen dat 1 tank mest 6 m³ (maximale inhoud mesttank) bevatte. Een lagere mestgift (omdat de tank niet vol was op het begin, of niet helemaal leeg op het eind) zou de totale emissie omhoog brengen. De tweede reden is dat de resultaten met de fluxraam methode, gebaseerd zijn op metingen gedurende een korte meetperiode (maximaal 48 uur). Tabel 4 laat

zien dat de emissies na de laatste meetperiode niet verwaarloosbaar waren, waardoor de verwachting is dat de werkelijke emissie hoger zou kunnen zijn.

Gezien de resultaten kan worden geconcludeerd dat het mogelijk is om met de bemestingsmethode Spruit een lage NH₃-emissie na mesttoediening te bereiken, echter deze methode is afhankelijk van de uitvoering omdat de weersomstandigheden, waar sterk op wordt ingespeeld, zodanig kunnen wijzigen dat alsnog een hogere emissie wordt bewerkstelligd. Ook is het in de praktijk niet altijd mogelijk te wachten op ideale bemestingsomstandigheden. De emissieniveaus konden worden bereikt door de combinatie van de genoemde invloedsfactoren. Het is niet mogelijk om 1 van de factoren te isoleren en daarmee het emissieniveau te verklaren. Deze methode is gebaseerd op jarenlange ervaring en is bovendien zeer arbeidsintensief.

5 Conclusies

De toepassing van de fluxraam methode voor NH_3 emissiemetingen na het toedienen van mest is uitvoerbaar onder praktijkomstandigheden wanneer rekening wordt gehouden met een aantal theoretische en praktische randvoorwaarden. De NH_3 -emissie na het uitrijden van mest, gemeten met de volveldse methode, vertoonde een grote variatie, met waarden tussen de 18% en 68% emissie van de opgebrachte $\text{NH}_4\text{-N}$. Bij de proefveldmethode varieerde de NH_3 -emissie na het toedienen van mest tussen 25-35% van de opgebrachte $\text{NH}_4\text{-N}$. Gezien de resultaten kan worden geconcludeerd dat het mogelijk is om met de bemestingsmethode Spruit een lage NH_3 -emissie na mesttoediening te bereiken, echter deze methode is kwetsbaar in de uitvoering omdat de weersomstandigheden, waar sterk op wordt ingespeeld, zodanig kunnen wijzigen dat alsnog een hogere emissie wordt bewerkstelligd.

Literatuur

- Denmead, O.T. (1983). Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field. In *Gaseous Loss of Nitrogen from plant-soil systems* (eds. Freney, J.R. and Simpson, J.R.), pp. 133-157. Martinus Nijhoff/dr. W. Junk, The Hague.
- Hofschreuder, P. (2002). Ontwikkeling van een meetmethode voor gasvormige emissies van oppervlaktebronnen op landbouwpraktijkschaal. *IMAG Rapport 2002-13*.
- Huijsmans, J.F.M. (2003). Manure application and ammonia volatilization. *PhD thesis*, Wageningen University.
- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., Smits, M.C.J., Verwijs, B.R., van der Meer, H.G., Rutgers, B. en Verhoeven, F.P.M. (2004). Ammoniakemissie bij bovengronds breedwerpig mesttoediening. *A&F rapport 136*.
- Mosquera, J. (2003). Guidelines for the use of passive flux samplers (PFS) to measure ammonia emissions from mechanically ventilated animal houses. *IMAG Rapport 2003-13*.
- Mosquera, J., Hofschreuder, P., Erisman, J.W., Mulder, E., van 't Klooster, C.E., Ogink, N., Swierstra, D. en Verdoes, N. (2002a). Meetmethode gasvormige emissies uit de veehouderij. *IMAG rapport 2002-12*.
- Mosquera, J., Hofschreuder, P. en Hensen, A. (2002b). Application of new measurement techniques and strategies to measure ammonia emissions from agricultural activities. *IMAG report 2002-11*.
- Mulder, E.M. en Huijsmans, J.F.M. (1994). Beperking ammoniakemissie bij mesttoediening; overzicht metingen DLO-veldmeetploeg 1990-1993. *Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 18*.
- Ryden, J.C. en J.E. McNeill (1984). Application of the micrometeorological mass balance method to the determination of ammonia loss from a grazed sward. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **35**, 1297-1310.
- Schjoerring, J.K. (1995). Long-term quantification of ammonia exchange between agricultural crop land and the atmosphere-I. Evaluation of a new method based on passive flux samplers in gradient configuration. *Atmospheric Environment* **29**, 885-893.
- Scholtens, R, Hol, J.M.G, Wagemans, M.J.M. en Phillips, V.R. (2003a). Improved passive flux samplers for measuring ammonia emissions from animal houses. Part 1 Basic principles. *Journal of Agricultural Engineering Research* **85(1)**, 95-100.
- Scholtens, R, Wagemans, M.J.M. en Phillips, V.R. (2003b). Improved passive flux samplers for measuring ammonia emissions from animal houses. Part 2 Performance of different types of samplers as a function of angle of incidence of air flow. *Journal of Agricultural Engineering Research* **85(2)**, 227-237.

Wagemans, M.J.M. en Mosquera, J. (2003). IPPC for poultry: recommendations for ammonia emission measurements at two Padley's and two Deans Foods farms in the UK. *IMAG Nota P2003-56*.

Samenvatting

In 2004 zijn verschillende metingen begonnen om de nutriëntenstromen op het melkveebedrijf Spruit (Zegveld) te karakteriseren. Gedurende twee jaar (2004-2005) werden, onder andere, de gasvormige emissies (ammoniak, broeikasgassen, geur) uit verschillende bronnen (stal, mesttoediening, mestopslag) gemeten.

Dit rapport is deel II van het project, hier worden de ammoniakemissies na het toedienen van mest gepresenteerd. Met name de mesttoediening is afwijkend van de huidige toegestane bemestingsmethoden. De regelgeving biedt geen ruimte voor bovengronds breedwerpig toedienen van mest in welke vorm dan ook. Op dit bedrijf wordt de mest altijd bovengronds breedwerpig toegediend. Echter de omstandigheden waarbij de mest wordt uitgereden worden specifiek gekozen (weersomstandigheden zoals weinig wind en vochtige omstandigheden) en de nabehandeling van de mest direct na de mesttoediening wordt ook specifiek gekozen (inregenen met slootwater of afdekken met bagger).

Om de ammoniakemissies na het toedienen van dierlijke mest te bepalen wordt de volveldse meetmethode (fluxraam) gehanteerd. Bij de uitgevoerde praktijkmetingen werd gebruik gemaakt van twee conventionele PAF samplers die loodrecht tegen elkaar zijn geplaatst (kruisvormige PAF sampler). Met de PAF-sampler wordt direct een fluxdichtheid gemeten (plaatsing van aparte anemometers en aparte concentratiesamplers is niet nodig). Dit is mogelijk omdat de luchtstroom door de sampler een lineaire functie is van de windsnelheid buiten de sampler. Aangezien volveldse meetmethoden nog niet vaak zijn toegepast om oppervlakte emissies na mesttoediening te bepalen, is vergelijking met de massabalans methode met proefvelden noodzakelijk.

In totaal zijn 4 experimenten uitgevoerd met de fluxraammethode en twee experimenten met de massabalans methode (met ieder 2 proefvelden). Bij de volveldse mesttoediening werd iedere tank mest na toediening direct nagespoeld met slootwater, daarnaast werd eenmalig (proef 3) ook nog bagger over het mest/water mengsel gesproeid. Bij de proefvelden werd eenmaal bemest met dezelfde soort mest, uit het melkveebedrijf van de familie Spruit. Bij het tweede experiment werd één proefveld bemest met mest uit het melkveebedrijf van de familie Spruit (bovengronds), en het andere proefveld met mest van de proefboerderij Zegveld (conventionele mest; sleepvoetmachine).

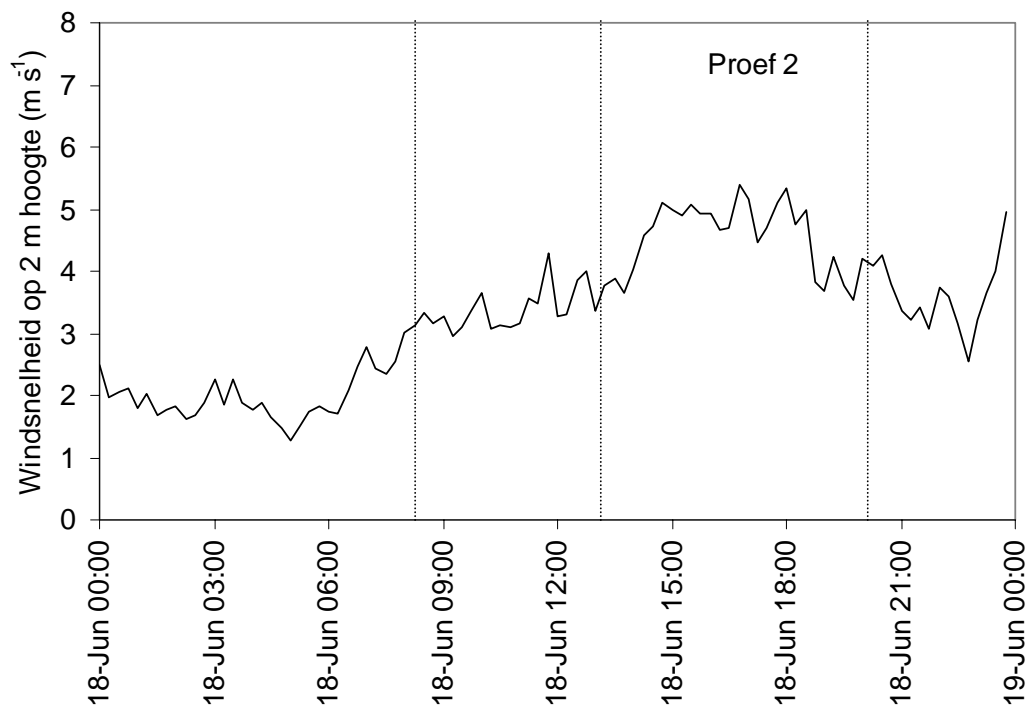
De NH_3 -emissie na het uitrijden van mest, gemeten met de volveldse methode, vertoonde een grote variatie, met waarden tussen de 18% en 68% emissie van de opgebrachte $\text{NH}_4\text{-N}$. Er zijn echter een paar meettechnische kantekeningen bij de lage gemeten emissies, achteraf is vast komen te staan dat hier sprake was van een onderschatting van de emissie.

Bij de proefveldmethode was de NH_3 -emissie bij de methode "Spruit" vergelijkbaar in beide experimenten, en varieerde tussen 25-35%. De emissie bij de methode "Spruit" (bovengronds

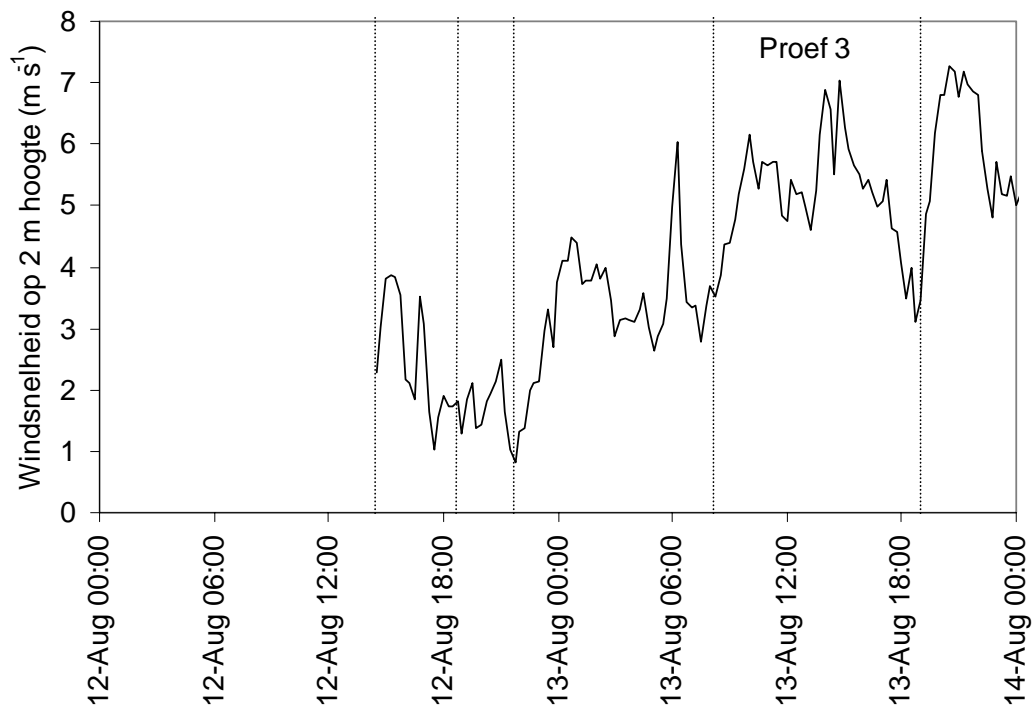
breedwerpig+water/bagger) was ook vergelijkbaar met de emissie die gemeten werd na toediening van de mest van het proefbedrijf “Zegveld” met de sleepvoetmachine.

Gezien de resultaten kan worden geconcludeerd dat het mogelijk is om met de bemestingsmethode Spruit een lage NH₃-emissie na mesttoediening te bereiken, echter deze methode is kwetsbaar in de uitvoering omdat de weersomstandigheden, waar sterk op wordt ingespeeld, zodanig kunnen wijzigen dat alsnog een hogere emissie wordt bewerkstelligd. Ook is het in de praktijk niet altijd mogelijk te wachten op ideale bemestingsomstandigheden. De emissieniveaus konden worden bereikt door de combinatie van de genoemde invloedsfactoren. Het is niet mogelijk om een van de factoren te isoleren en daarmee het emissieniveau te verklaren.

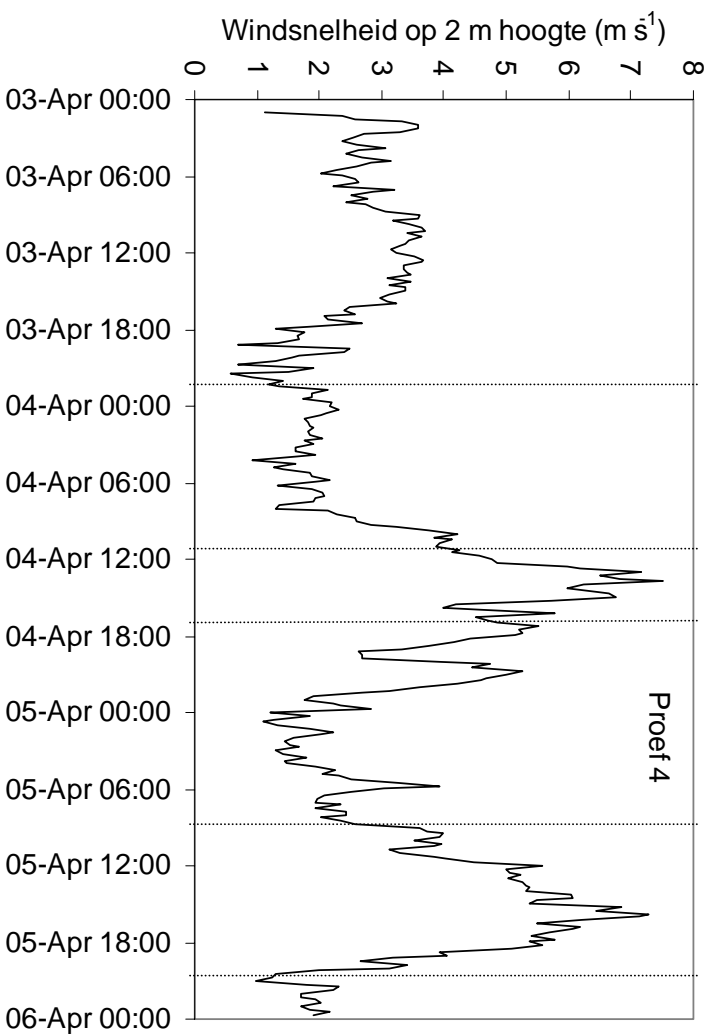
Bijlage A Windsnelheid (fluxraam)



Figuur A1 Uurgemiddelden windsnelheid voor proef 2. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.

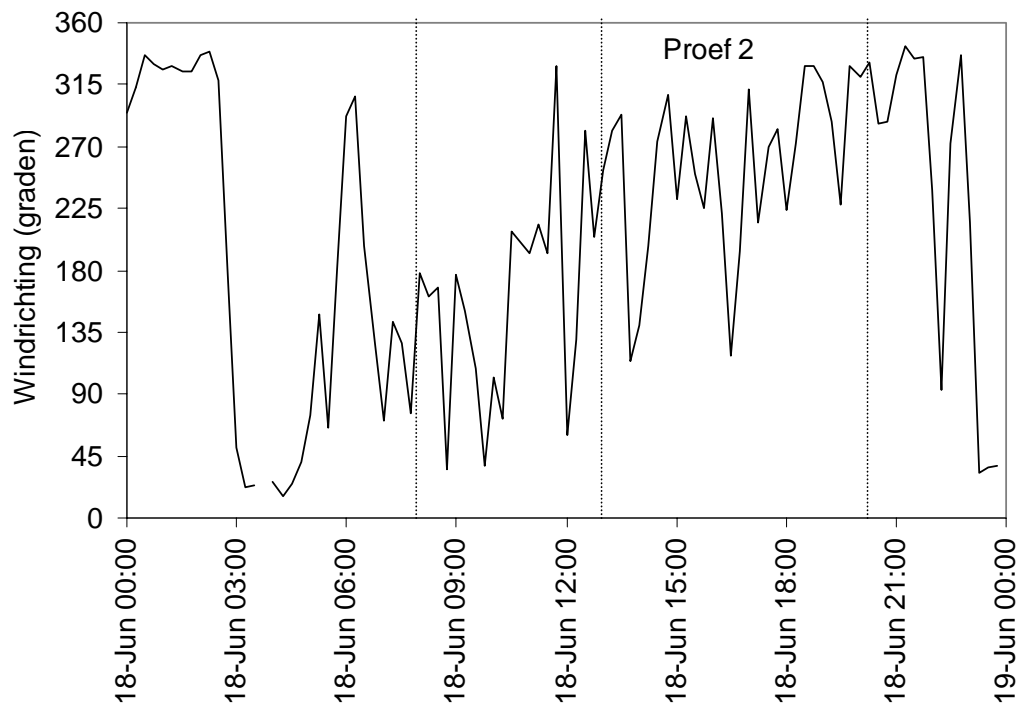


Figuur A2 Uurgemiddelden windsnelheid voor proef 3. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.

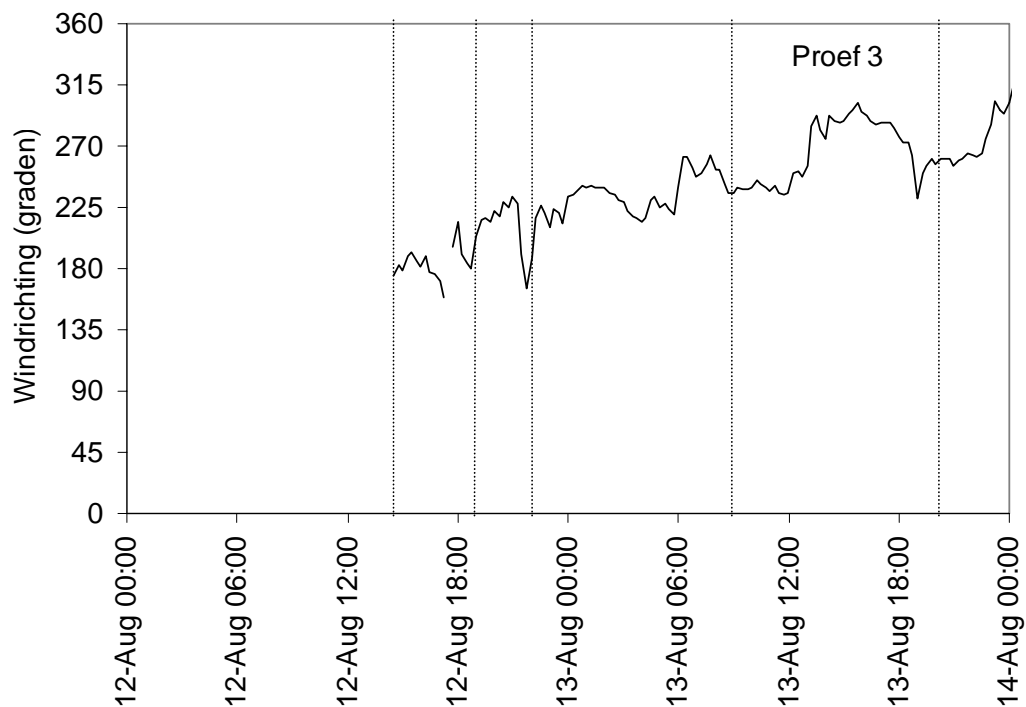


Figuur A3 Uurgemiddelden windsnelheid voor proef 4. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.

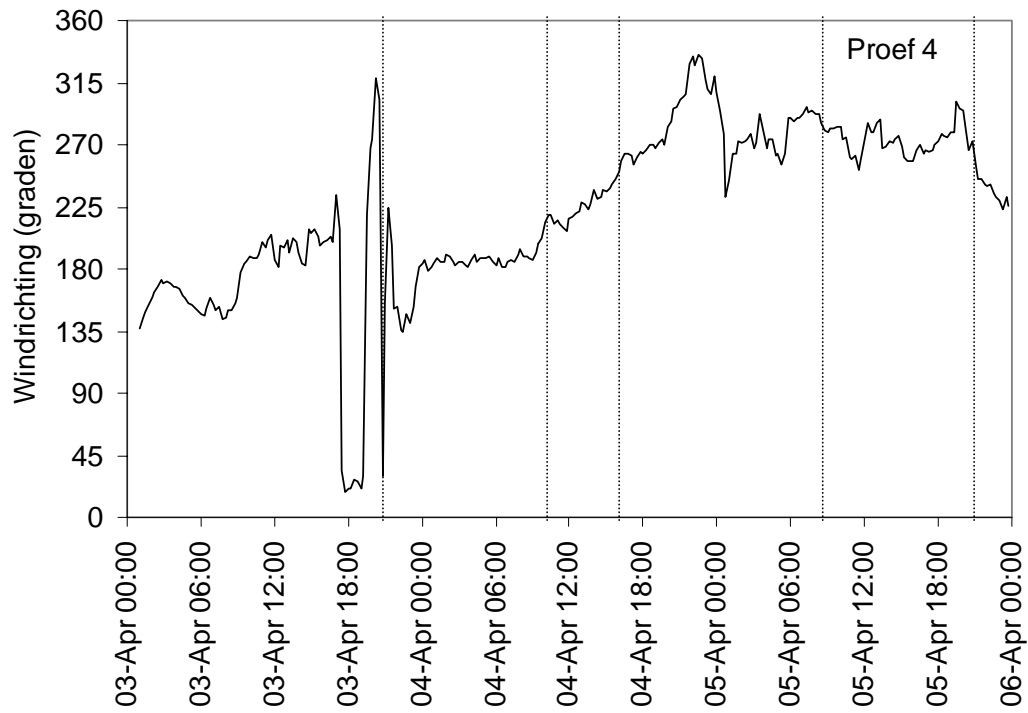
Bijlage B Windrichting (fluxraam)



Figuur B1 Uurgemiddelden windrichting voor proef 2. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.

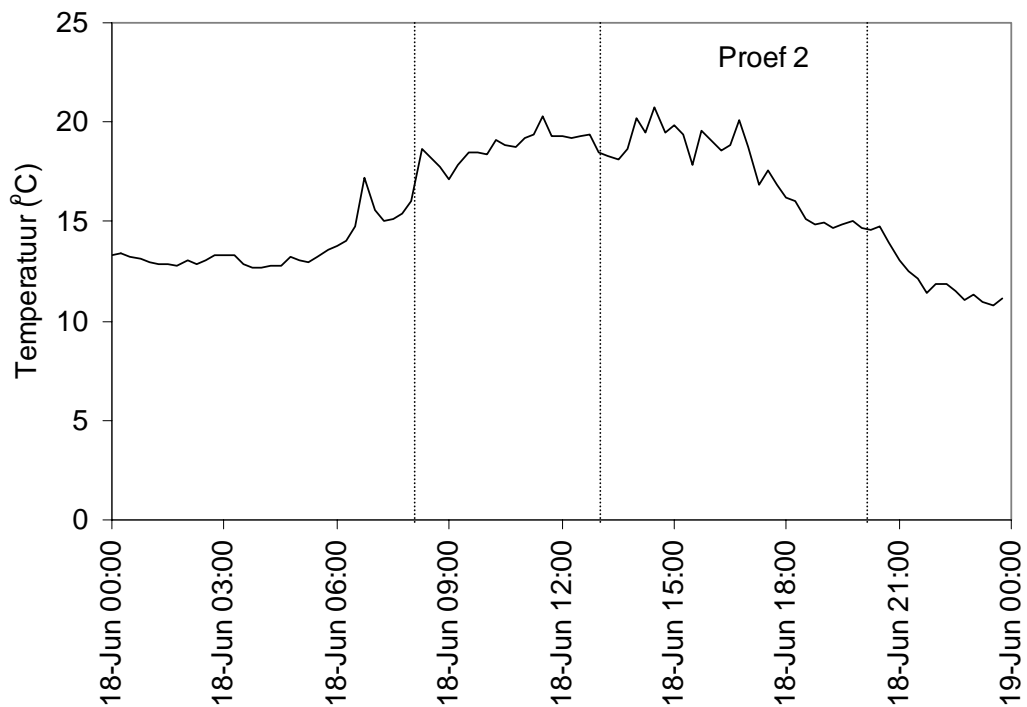


Figuur B2 Uurgemiddelden windrichting voor proef 3. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.

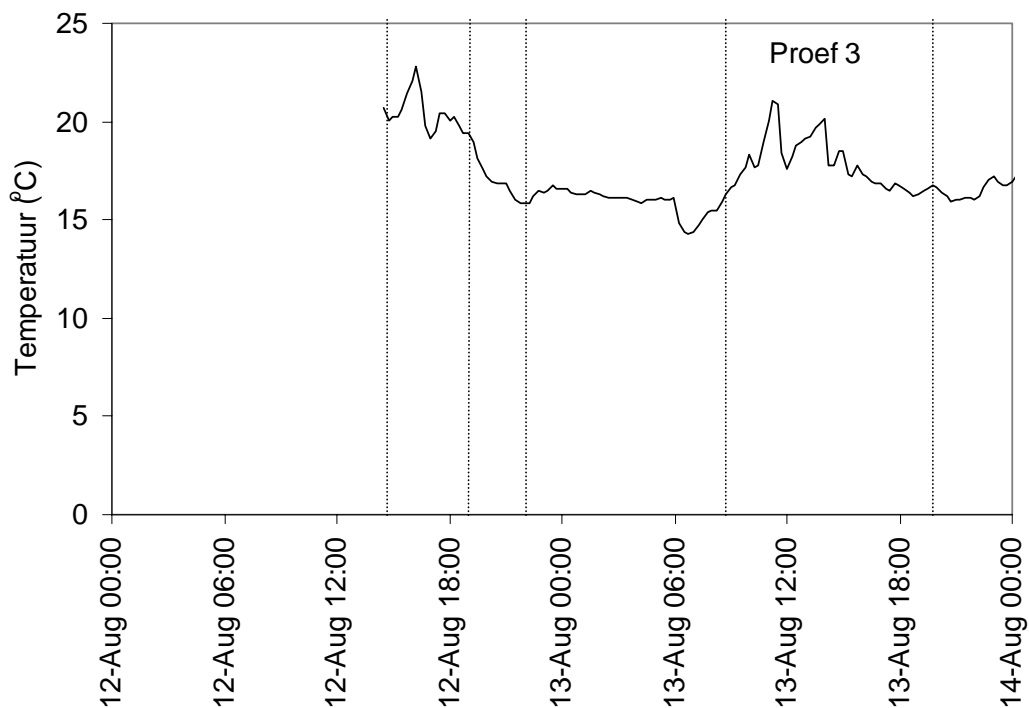


Figuur B3 Uurgemiddelden windrichting voor proef 4. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.

Bijlage C Temperatuur (fluxraam)

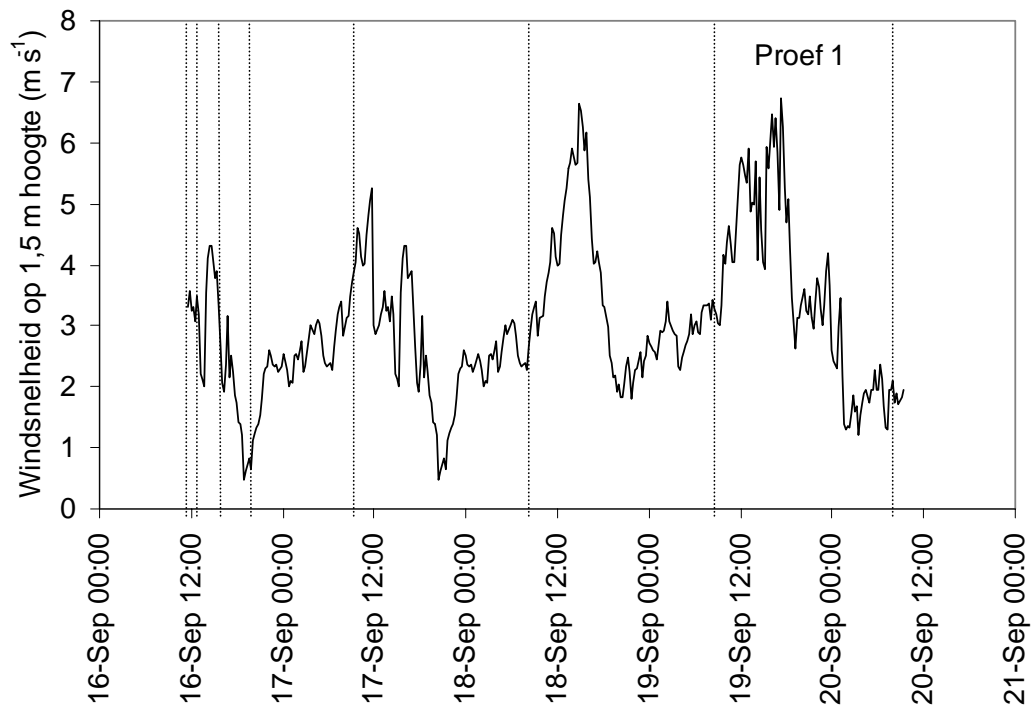


Figuur C1 Uurgemiddelden temperatuur voor proef 2. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.

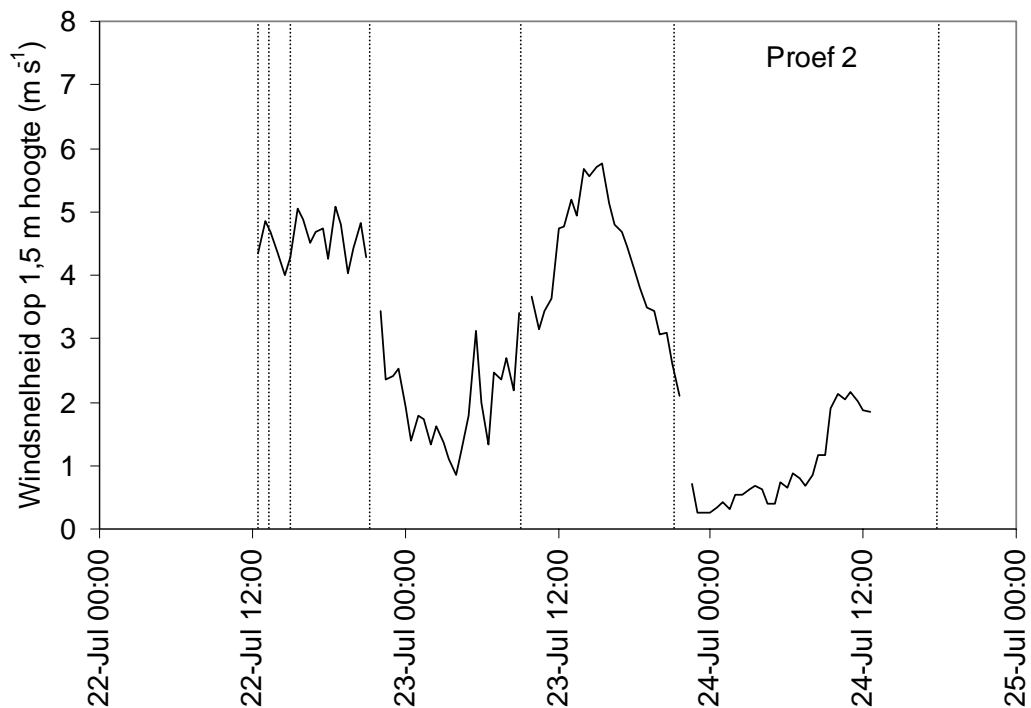


Figuur C2 Uurgemiddelden temperatuur voor proef 3. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.

Bijlage D Windsnelheid (proefvelden)

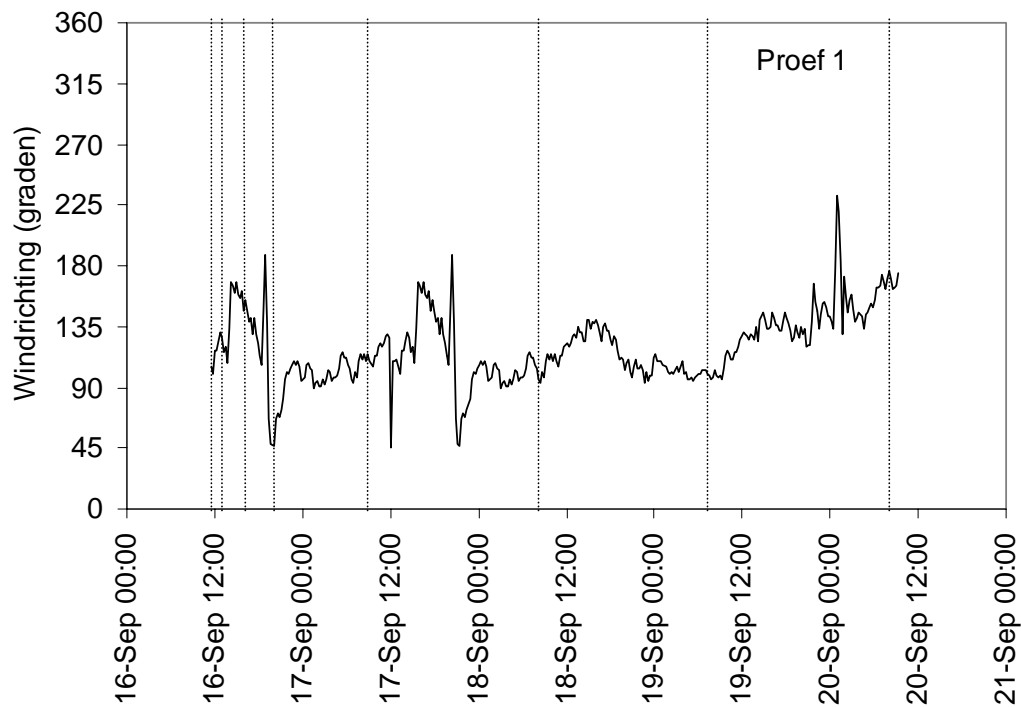


Figuur D1 Uurgemiddelden windsnelheid voor proef 1. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.

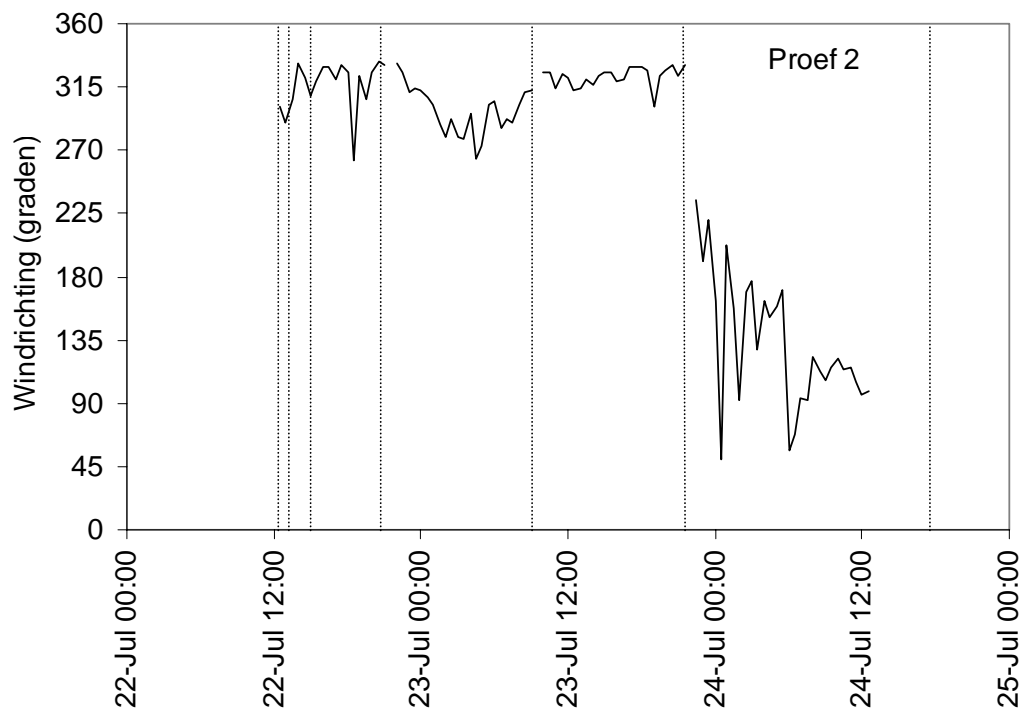


Figuur D2 Uurgemiddelden windsnelheid voor proef 2. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.

Bijlage E Windrichting (proefvelden)

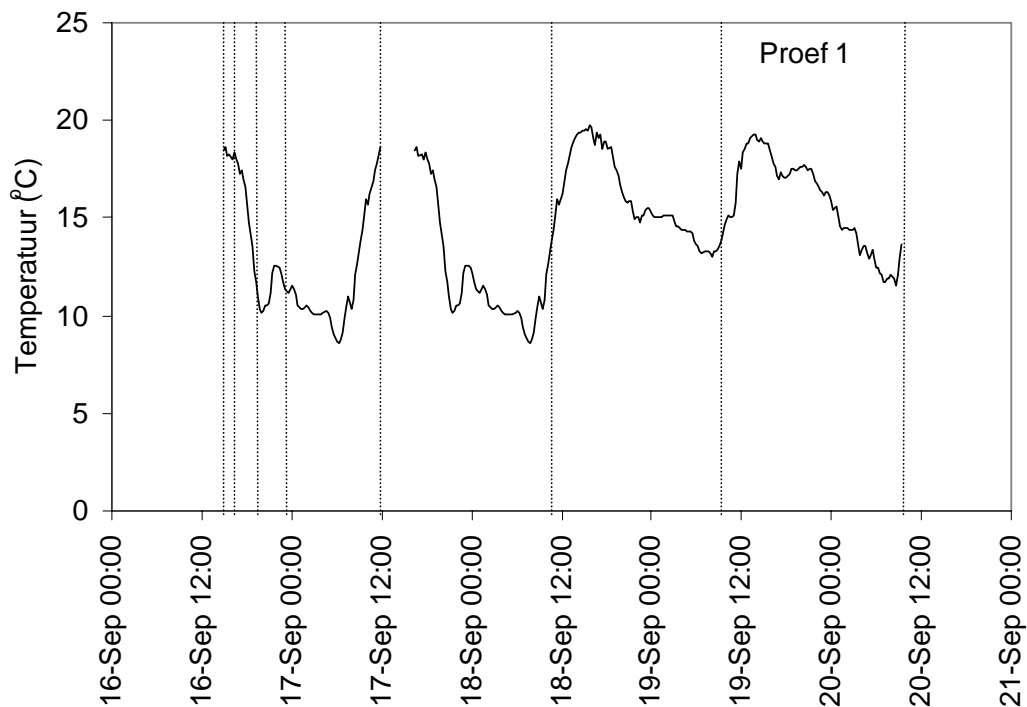


Figuur E1 Uurgemiddelden windrichting voor proef 1. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.

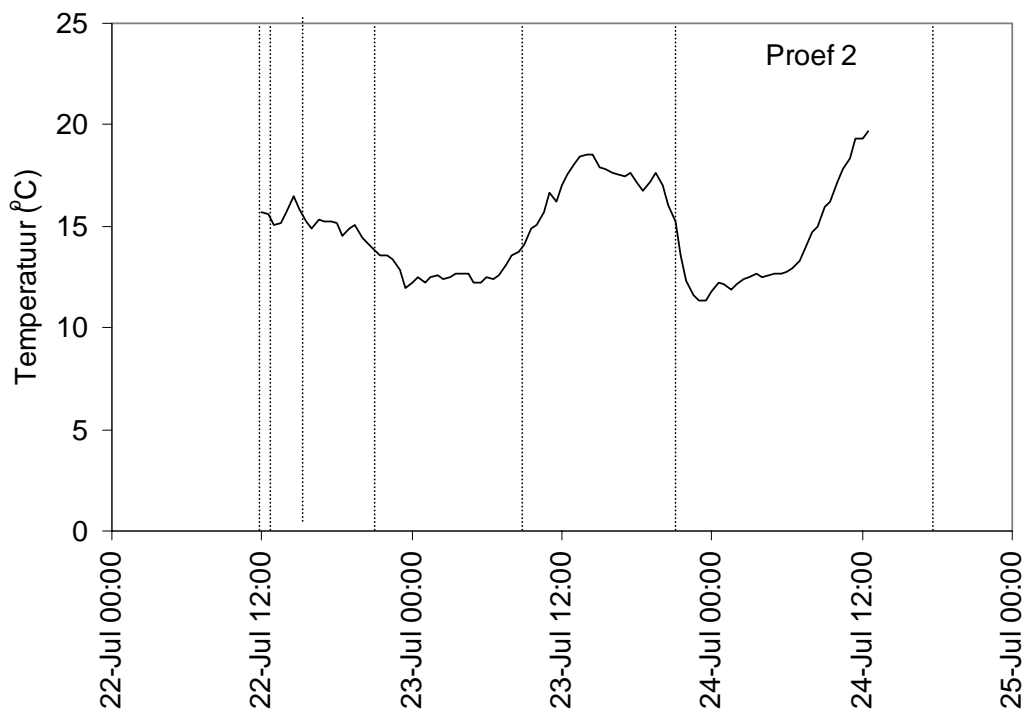


Figuur E2 Uurgemiddelden windrichting voor proef 2. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.

Bijlage F Temperatuur (proefvelden)



Figuur F1 Uurgemiddelden temperatuur voor proef 1. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.



Figuur F2 Uurgemiddelden temperatuur voor proef 2. De stippenlijnen geven de meetperioden aan.