

# Ontwerp van nieuwe meetprotocollen voor het meten van gasvormige emissies in de landbouw

P. Hofschreuder, J. Mosquera, J.M.G. Hol en N. Ogink

Report 008





# **Ontwerp van nieuwe meetprotocollen voor het meten van gasvormige emissies in de landbouw**

P. Hofschreuder, J. Mosquera, J.M.G. Hol en N. Ogink

Report 008

# Colophon

Title	Ontwerp van nieuwe meetprotocollen voor het meten van gasvormige emissies in de landbouw
Author(s)	P. Hofschreuder, J. Mosquera, J.M.G. Hol en N. Ogink
A&F number	Report 008
ISBN-number	90-6757-727-1
Date of publication	December 2003
Confidentiality	N/A
Project code.	630-53081.01
Price	€ 18

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

© 2003 Agrotechnology & Food Innovations B.V

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, 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.*

## **Abstract**

Measurement protocols were developed in the past to assure representativity and quality of the measurement results. However, a critical analysis of these protocols with respect to representativity, sources of variance, influence of autocorrelation and costs indicate that strong reductions in costs are possible with only very small loss of accuracy. Besides, year round sampling at random intervals or with a random start and fixed intervals are preferred to existing protocols that focus on continuous measurements during fixed periods.

In this report alternative methods are reviewed and discussed for alternative strategies for three cases: veal calves in an animal house with forced ventilation, milking cows in a naturally ventilated cow house and laying hens in an animal house with forced ventilation and exercise yard. The costs of different protocols are presented in relative units to show the difference in costs for about the same quality of information.

Keywords: measurement protocols, techniques, emission, animal house, open field, exercise yard, mechanical ventilation, natural ventilation, meteorology, emission dynamics, meat calves, milk cows, laying hens



# Contents

<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding en doelstellingen</b>	<b>9</b>
<b>2 Bestaande meetprotocollen in een nieuw licht</b>	<b>13</b>
2.1 Definities	13
2.2 Inventarisatie van meetvragen en hun toepassingsgebieden	13
2.3 Bestaande meetprotocollen	15
2.4 Traditionele- en nieuwe meetmethoden voor meetprotocollen	16
2.5 Analyse van bestaande meetreeksen	18
<b>3 Eisen aan de meetstrategie en ontwerp van een meetstrategie</b>	<b>23</b>
3.1 Overleg tussen opdrachtgever en meetinstantie	23
3.2 Controle op de randvoorwaarden voor goede metingen	27
<b>4 Herziening van meetprotocollen</b>	<b>29</b>
4.1 Variabiliteit van systemen	29
4.2 Jaarrond metingen	29
4.3 Aantal metingen	31
4.4 Voorbereidingen voor nieuwe protocollen	33
<b>5 Uitwerking van een meetstrategie voor een drietal cases</b>	<b>35</b>
5.1 Inleiding	35
5.2 Vleeskalveren stal met mechanische ventilatie	37
5.2.1 Dynamiek van emissie van gassen voor een mechanisch geventileerde vleeskalveren stal	37
5.2.2 Beschikbare meetmethoden	38
5.2.2.1 Meetventilator en NO <sub>x</sub> monitor	38
5.2.2.2 Passieve fluxbuisjes in een ventilatiekanaal	39
5.2.2.3 Tracergasmethode met canister-denuder metingen	39
5.2.2.4 Meetventilator gecombineerd met passieve samplers of natchemische methoden	40
5.2.2.5 Emissie schatting op basis van een management model	41
5.2.3 Meetstrategie	41
5.2.4 Beoordeling meetstrategieën	42
5.3 Uitwerking van de case melkvee met natuurlijke ventilatie	44
5.3.1 Dynamiek van emissie van gassen voor een natuurlijk geventileerde melkveestal	44
5.3.2 Beschikbare meetmethoden	45
5.3.2.1 Tracergasmethode met NO <sub>x</sub> monitor en gaschromatograaf	45
5.3.2.2 Tracergasmethode met canister-denuder metingen	46
5.3.2.3 Tracergas gecombineerd met canister en passieve samplers of natchemische methoden	46
5.3.2.4 Management model voor emissieschatting	46
5.3.3 Meetstrategie	47
5.3.4 Beoordeling meetstrategieën	47

5.4	Open leghennen stal met uitloop	49
5.4.1	Dynamiek van emissie van gassen voor open stallen met uitloop	49
5.4.2	Beschikbare meetprincipes	50
5.4.2.1	Metingen aan de uitloop met de snelle box methode	51
5.4.2.2	Fluxraam (Massabalansmethode) met fluxbuisjes	52
5.4.2.3	Fluxraam (Massabalansmethode) met denuders en anemometers	53
5.4.2.4	Pluimtransectmeting	54
5.4.3	Meetstrategie	55
5.4.4	Beoordeling meetstrategieën	56
<b>6</b>	<b>Plan van aanpak</b>	<b>59</b>
6.1	Ontwikkeling van meetmethoden	59
6.1.1	Gebouwen met een gerichte uitlaat van lucht (mechanisch geventileerd)	60
6.1.1.1	Fluxbuisjes.	60
6.1.1.2	Denuder-canister metingen.	60
6.1.1.3	Open pad TDL metingen.	61
6.1.2	Gebouwen met een duidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerd, kleine inlaat)	62
6.1.2.1	Tracer decay methode voor ventilatie schatting	62
6.1.2.2	Passieve samplers	63
6.1.3	Gebouwen met een onduidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerd, open front/ grote inlaat)	63
6.1.4	Gebouwen met een uitloop voor dieren in de buitenlucht	63
6.1.4.1	Snelle box methode voor uitloop	63
6.1.5	Open veld	64
6.2	Toetsing van nieuwe methoden en voorbereiding van protocollen	65
6.2.1	Toetsing van nieuwe meetmethoden	65
6.2.2	Wijziging van bestaande protocollen	65
6.2.3	Ontwikkeling van methoden voor de realisatie van nieuwe protocollen	66
6.2.3.1	Meetstrategie voor massabalansmeting	66
6.3	Ontwikkelen van nieuwe meetprotocollen	66
	<b>Literatuur</b>	<b>71</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>77</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Meetperiodes per diercategorie t.b.v. meetprotocol (Beoordelingsrichtlijn, 1996)</b>	<b>81</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Meetmethoden voor het meten van ammoniak-, geur- en broeikasgassenemissies</b>	<b>82</b>
2.1	Mechanisch geventileerde stallen	82
2.1	Mechanisch geventileerde stallen (vervolg)	83
2.2	Natuurlijk geventileerde stallen (kleine inlaatopeningen)	84
2.3	Natuurlijk geventileerde stallen (grote inlaatopeningen / open front)	85
2.4	Stallen met uitloop	85



2.5 Open velden	86
<b>Bijlage 3</b> <b>Overzicht van meteorologische omgevingsfactoren voor midden Nederland.</b>	<b>87</b>
<b>Bijlage 4</b> <b>Overwegingen ten aanzien van de keuze van een nieuw tracergas als vervanging voor SF<sub>6</sub>.</b>	<b>89</b>
<b>Bijlage 5</b> <b>Ontwikkeling van een meetstrategie voor massabalansmetingen</b>	<b>93</b>



# 1 Inleiding en doelstellingen

Voor het oplossen van milieuproblemen als gevolg van belangrijke gasvormige emissies in de landbouw (NH<sub>3</sub>, en in mindere mate geur) zijn uitgebreide reguleringen, emissiearme stalsystemen, mesttoedieningstechnieken en managementmaatregelen ontwikkeld. Essentieel daarbij was en is onderzoek aan gasvormige emissies door middel van metingen in laboratorium en op praktijkschaal. Sedert eind jaren tachtig zijn hiervoor op instigatie van de overheid nieuwe meetmethoden en bijbehorende protocollen ontwikkeld. Doordat de eisen aan meetmethoden veranderen, er een continue ontwikkeling is in meetmethoden, stalsystemen een verandering in de tijd vertonen en er voortdurend nieuwe vragen gesteld worden door betrokken partijen is van tijd tot tijd aanpassing van bestaande protocollen en ontwikkeling van nieuwe protocollen voor ammoniak en geur nodig. Daarnaast kunnen de emissies van broeikasgassen en stof als aandachtspunt worden toegevoegd.

In het LNV-onderzoeksprogramma 309 “Meten en monitoren van emissies van ammoniak, geur en broeikasgassen uit veehouderijgebouwen, ammoniakemissiemetingen bij mesttoediening in de praktijk en ontwikkeling van innovatieve methoden voor het meten van de mestsamenstelling” is de afgelopen jaren onderzoek verricht naar nieuwe meetmethoden met aandacht voor zowel het meten van de fluxstromen zelf als gedifferentieerde inzet van meetopstellingen in tijd en ruimte voor verschillende toepassingen en gebruiksomgevingen. Onderscheid naar geschiktheid voor langdurige continue metingen dan wel geschiktheid voor snel uit te voeren kortdurende metingen gaf reeds een indicatie, dat bestaande meetprotocollen vervangen zouden kunnen worden door meer en vooral meer vraaggerichte meetprotocollen. De resultaten van LNV-onderzoeksprogramma 309 zijn op dit punt weergegeven in een aantal rapportages over meetmethoden (Hofschreuder, 2002; Mosquera *et al.*, 2002a, 2002b). Dit rapport heeft als doel aan te geven hoe meetmethoden gebruikt kunnen worden in het ontwerp van nieuwe meetstrategieën. Optimalisering van inzet van de meetstrategie in plaats en tijd en kosten kan de basis vormen voor nieuwe meetprotocollen. Het gaat hierbij om een goede afstemming van de componenten:

- vraag: de verschillende types gebruikers en hun eisen
- aanbod: nieuw ontwikkelde meetmethoden en strategieën

Deze afstemming is specifiek voor de verschillende gasvormige emissies. In dit rapport worden aanbod- en vraagkant geïnventariseerd en worden nieuwe meetprotocollen gedefinieerd. De vragen van gebruikerszijde komen aan de orde in hoofdstuk 2. In dit hoofdstuk worden de bestaande protocollen geïnventariseerd en worden alternatieve meetstrategieën voor de verschillende broncategorieën toegevoegd. De behandeling in dit hoofdstuk vindt plaats op een algemeen niveau. Het aantal diercategorieën en stalsystemen is te groot om in detail te treden. Tenslotte wordt de methode beschreven aan de hand waarvan een analyse van bestaande meetreeksen heeft plaatsgevonden en worden de conclusies daaruit geformuleerd.

Veranderde inzichten en ontwikkeling van nieuwe staltypen en nieuwe meetmethoden geven noodzaak tot herziening van bestaande protocollen. Belangrijk voor een nieuwe meetstrategie zijn

doel, eisen en randvoorwaarden zoals deze door de opdrachtgever worden gesteld en de mogelijkheden en kosten om daaraan te voldoen van de zijde van de meetinstantie. Intensief overleg over deze zaken tussen beide partijen is essentieel. Hoofdstuk 3 fungeert min of meer als checklist voor punten die in dit overleg aan de orde moeten komen. Daarnaast moeten de meetlocatie en de metende instantie aan een aantal eisen en randvoorwaarden voldoen, die ook in dit hoofdstuk worden vermeld.

Bij herziening van meetprotocollen of het formuleren van nieuwe meetstrategieën spelen naast de in hoofdstuk 3 genoemde eisen en randvoorwaarden ook een aantal nieuwe inzichten een rol. Nieuwe inzichten hebben betrekking op de aandacht voor variabiliteit van systemen en de invloed van analytische fouten, variatie in meetresultaten van één bron en de variabiliteit in emissie tussen ogenschijnlijk gelijke bronnen op de representativiteit en variantie van de totale fout in emissieschatting. Autocorrelatie tussen metingen en variatie van de weersomstandigheden over het jaar geven aanleiding tot kritische kanttekeningen bij de gebruikelijke methode om slechts in bepaalde seizoenen te meten. Reductie van het aantal metingen ter verlaging van kosten roept de vraag op hoeveel metingen er dan gedaan zouden moeten worden. Hoewel de vraag niet afdoende beantwoord kan worden wordt in hoofdstuk 4 wel een poging gedaan een antwoord op deze vraag te geven. Tenslotte wordt aangegeven waarom nieuwe protocollen niet anders dan met het nodige voorwerk tot stand kunnen komen.

In hoofdstuk 5 is er voor gekozen om nieuwe protocollen niet algemeen te behandelen, maar een beperkt aantal voorbeelden diepgaand te behandelen. Als voorbeelden is gekozen voor een vleeskalverenstal met mechanische ventilatie, een melkveestal met natuurlijke ventilatie en een leghennen stal met uitloop. Iedere case start met een overzicht van de dynamiek van de emissies als één van de basisgegevens, waarop een meetstrategie gebaseerd moet zijn. Wanneer geheel verschillende methoden van aanpak mogelijk zijn, zoals voor de leghennen stal met uitloop, worden die naast elkaar gezet met hun specifieke voor- en nadelen. Vervolgens komen de beschikbare meetmethoden aan de orde. Ook hier komen voor- en nadelen naar voren. Er wordt een keuze gedaan voor een beperkt aantal (de meest veelbelovende) technieken, waarmee een meetstrategie kan worden opgezet. Daarnaast worden bestaande protocollen (indien aanwezig voor dat type bron) altijd meegenomen in de beschouwing. Dit maakt de eventuele meer- of minderwaarde, maar ook het verschil in kosten met alternatieve protocollen duidelijk. De kosten van de verschillende meetstrategieën worden als verhoudingsgetallen gepresenteerd. Op die wijze kunnen doel en inzet van middelen gericht worden afgestemd en ontstaat tevens inzicht in de aspecten, die een sterke invloed hebben op de kosten. De traditionele methoden en een beperkt aantal alternatieven worden vervolgens op basis van inpasbaarheid, informatiedichtheid, nauwkeurigheid, kwetsbaarheid voor fraude en kosten met elkaar vergeleken. Daarbij worden weegfactoren gehanteerd, omdat niet elk van de voornoemde facetten even zwaar zal wegen. De totaalscore geeft aan welke meetstrategie als beste uit de bus komt.

Niet alle meetstrategieën, die in hoofdstuk 5 worden genoemd kunnen al als volledig uitgetest en operationeel worden beschouwd. Er is ontwikkelwerk nodig. In hoofdstuk 6 wordt een plan van aanpak geschetst om tot de ontwikkeling van nieuwe protocollen te komen. Voor vijf

broncategorieën worden per categorie de meest veelbelovende nieuwe meetmethoden kort beschreven. Wanneer geen of onvoldoende validatie van nieuwe meetmethoden heeft plaatsgevonden wordt dat aangegeven. Ook kunnen meetprotocollen worden gewijzigd op basis van de keuze van nieuwe meetmethoden of op grond van meer inzicht in de werking van bestaande protocollen. Met name protocollen voor metingen buiten stallen vergen naast ontwikkeling van meetmethoden ook ontwikkeling van een ondersteunende meetstrategie. Tenslotte wordt kort samengevat aan welke factoren aandacht moet worden besteed bij de ontwikkeling van een nieuw meetprotocol.



## 2 Bestaande meetprotocollen in een nieuw licht

### 2.1 Definities

In het rapport zullen regelmatig de begrippen meting, meetstrategie en meetprotocol vallen. Om duidelijk te maken wat hiermee wordt bedoeld worden deze termen hier eerst gedefinieerd.

**Meting:** vaststellen van een absoluut getal of verschil met behulp van een meetinstrument. De meting kan betrekking hebben op een concentratie ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), een debiet ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ), een massafluxdichtheid ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) of een emissie ( $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Metingen kunnen direct worden verkregen uit het signaal van een meetinstrument ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  uit een concentratiemeter,  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  uit een meting met een fluxbuisje) of berekend worden door signalen te combineren (vermenigvuldiging van concentratie en debiet geeft emissie).

**Meetstrategie:** beschrijving van inzet van meetapparatuur en mensen in tijd en ruimte om meetresultaten te verzamelen. Doel is om met minimale inspanning en kosten de meetdoelen te bereiken, gegeven de variatie van de te meten grootte in ruimte en tijd.

**Meetprotocol:** afgebakende meetstrategie. Als men het eens is geworden over de meest optimale meetstrategie voor een bepaald doel, kan de werkwijze qua periode, meettijdstippen, aantal herhalingen, technische uitvoering etc. worden vastgelegd. Een meetprotocol wordt opgesteld om de kwaliteit van de metingen in de vorm van herhaalbaarheid en herleidbaarheid te waarborgen.

### 2.2 Inventarisatie van meetvragen en hun toepassingsgebieden

Vóór we een meetprotocol voor emissiemetingen kunnen formuleren dient te worden geïnventariseerd wie de gebruikers zijn, wat voor vragen zij hebben, wat voor eisen er aan de metingen worden gesteld en wat de voorwaarden zijn waaronder de metingen moeten worden verricht. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de verschillende gebruikers en het bijbehorende doel waarvoor de metingen dienen.

Verskil in doelen kan resulteren in verschil in aanpak van de metingen. Procesinzicht vergt bijvoorbeeld een hogere resolutie in de tijd, dan nodig is voor controlerende metingen. Emissiemetingen ten behoeve van emissiefactoren zullen zich vooral op stallen of onderdelen daarvan richten, terwijl voor de vergunningverlening metingen aan hele complexen voldoende zijn en voor de rijksoverheid wellicht gebiedsgemiddelden voldoen.

**Tabel 2.1** Overzicht gebruikers en doelen.

GEBRUIKERS	DOEL
Ondernemer /boer	Managementondersteuning Bewijs voldoen aan normen
Producenten stalsystemen (bedrijfsleven)	Inzicht in emissie van systemen Keurmerk (emissiefactoren)
Vergunningverleners (gemeente/provincies)	Handhaving verleende vergunning Monitoring milieu-/omgevingskwaliteit
Nationale overheid	Monitoring omgevingskwaliteit (beleid) Keurmerk (emissiefactoren)
Internationaal	Afleggen verantwoording t.a.v. emissieplafonds Rapportage milieukwaliteit (EU)
Onderzoek	Procesinzicht Ontwikkelen toepassingen/meetmethoden

Nadat de gebruiker en doel zijn vastgesteld, komen de omstandigheden waaronder de metingen moeten worden verricht aan de orde. Er kunnen vijf verschillende type bronnen gedefinieerd worden:

1. Gebouwen met een gerichte uitlaat en/of inlaat van lucht (mechanisch geventileerd)
2. Gebouwen met een duidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerd, kleine inlaat)
3. Gebouwen met een onduidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerd, open front/ grote inlaat)
4. Gebouwen met een uitloop voor dieren in de buitenlucht
5. Open veld

De representativiteit van metingen op één punt en de mogelijkheid om bepaalde meetapparatuur in te zetten is voor deze vijf brontypen zeer verschillend. Voor een uitgebreide behandeling wordt verwezen naar het rapport “Meetmethoden gasvormige emissies uit de veehouderij” (Mosquera *et al*, 2002b). In de behandeling van een aantal voorbeelden (cases) in dit rapport komen verschillende voorbeelden aan de orde.

Afhankelijk van de vraag van de gebruiker kan worden besloten om alleen een specifieke component te meten, of voor een integrale aanpak te kiezen. Bij een integrale aanpak worden meerdere componenten gelijktijdig gemeten. Nadeel van een integrale aanpak zijn de hogere kosten voor monsterneming en analyse. Voordeel is dat een totaal beeld wordt verkregen. Reductie van emissie van één stof kan immers leiden tot verhoging van de emissie van andere stoffen. Gezien de recente verhoogde aandacht voor broeikasgassen, geur en stof verdient integrale aanpak sterk de voorkeur. Meestal wordt een selectie gemaakt uit de volgende componenten:

1. Ammoniak (NH<sub>3</sub>)
2. Broeikasgassen (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>)
3. Geur
4. Stof



Geur is gedefinieerd als een combinatie van stoffen, die gezamenlijk boven de geurdrempel uit komen en een bepaalde hedonische waarde hebben. Dat wil zeggen dat er geurhinder is en de hinderlijkheid niet alleen van de concentratie, maar ook van de soort geur afhangt (vergelijk de geur van een koffiebranderij met de geur van een destructor voor dode dieren). Analytisch is geur slecht te definiëren, omdat een combinatie van verschillende stoffen in extreem lage concentraties al geurwaarneming kan veroorzaken zonder dat de chemische samenstelling van de verantwoordelijke stoffen goed te bepalen is. De olfactometrische bepalingmethode is door standaardisatie echter goed geschikt om de emissie in aantal geureenheden per tijdseenheid te bepalen (van Harreveld en Heeres, 1995). Vergelijkbaar aan geur is stof een combinatie van groot aantal verbindingen. De stofconcentratie wordt gedefinieerd op massa basis. Voor effecten verantwoordelijke verbindingen vormen mogelijk een fractie van de totale massa. Meestal wordt alleen de massa van de fijne fractie van het stof (PM-10 = aerosol met een 50 % aërodynamische afsnijdingdiameter kleiner dan 10  $\mu\text{m}$ ) gemeten om een relatie met effecten te verkrijgen. Dit is de fractie van het stof, die het strottenhoofd passeert en in de longen terechtkomt. Discussie is gaande over de vraag of dit niet de fractie moet zijn, die diep in de longen terecht komt (PM-2,5 of PM-1,0). Over de werkzame stoffen in relatie tot bijvoorbeeld allergie is dan nog niet gesproken. Verdere standaardisatie op dit terrein is gewenst.

### 2.3 Bestaande meetprotocollen

Op dit moment wordt gebruik gemaakt van verschillende meetprotocollen waarvan het protocol voor het meten van de ammoniakemissiefactor ten behoeve van de Regeling Ammoniak Veehouderij (RAV, 2002) de bekendste is. Het protocol dat voor RAV 2002 wordt gebruikt staat beschreven in de Beoordelingsrichtlijn in het kader van Groen Labelstallen (Beoordelingsrichtlijn, 1996). Deze beschrijft voorgeschreven meetperiodes per diergroep (bijlage 1) en meetmethoden. Daarnaast staan de minimale landbouwkundige randvoorwaarden per diergroep vermeld. Een meting met als doel een emissiefactor moet aan alle eisen genoemd in dit protocol voldoen voordat het in aanmerking komt voor publicatie.

Voor de bepaling van de geuremissie is ook een meetprotocol ontwikkeld. Daarbij is als leidraad het meetprotocol voor ammoniakemissiefactoren van de Werkgroep Emissiefactoren uit 1996 genomen en is het protocol aangepast voor meetmethode en meetduur (Ogink en Mol, 2002). Een praktische invulling van een meetprotocol wordt gebruikt binnen het project Koeien en Kansen. Hierbij is gekozen om met dezelfde meetmethode en de meetduur verschillende bedrijven vlak na elkaar te meten (Huis in 't Veld *et al.*, 2003). Voor metingen aan stof en broeikasgassen binnen de landbouw zijn geen meetprotocollen beschreven.

In bestaande meetprotocollen zijn reeds meetperiodes per diercategorie vastgesteld. Voor elke brontype kunnen de volgende factoren effect hebben op de emissie:

1. Bedrijfseffecten: gebouwwontwerpen, managementsystemen, geometrie van het samenstelsel van bedrijfsgebouwen, emissiereducerende maatregelen etc.
2. Bekende patronen: dag-nacht, activiteiten en eetpatronen, seizoenen, productie cycli.
3. Klimaat factoren: windsnelheid, windrichting t.o.v. de stal, temperatuur, luchtvochtigheid, stralingsintensiteit.

Een overzicht van voorgeschreven meetperiodes volgens de Beoordelingsrichtlijn 1996 is weergegeven in tabelvorm in bijlage 1.

## 2.4 Traditionele- en nieuwe meetmethoden voor meetprotocollen

De huidige meetprotocollen schrijven voor ammoniak voor hoe de ventilatie moet worden bepaald en hoe de ammoniakconcentratie moet worden gemeten. De eisen zijn weergegeven in tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Type bronnen en huidige meetmethoden voor ammoniakemissiemetingen

TYPE BRONNEN	HUIDIGE MEETMETHODE
Gebouwen met een gerichte uitlaat van lucht (mechanisch geventileerd)	NO <sub>x</sub> -monitor of opto-akoestische monitor (NH <sub>3</sub> concentratie) en meetventilatoren (debiet)
Gebouwen met een duidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerd, kleine inlaat)	NO <sub>x</sub> -monitor of opto-akoestische monitor (NH <sub>3</sub> concentratie) en tracergas (SF <sub>6</sub> ): interne bronsterkte tracergas ratio methode
Gebouwen met een onduidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerd, open front/grote inlaat)	NO <sub>x</sub> -monitor of opto-akoestische monitor (NH <sub>3</sub> concentratie) en tracergas (SF <sub>6</sub> ): interne bronsterkte tracergas ratio methode
Gebouwen met een uitloop voor dieren in de buitenlucht	Geen meetmethode beschikbaar
Open veld	Massabalans methode met proefvelden

Voor de verschillende brontypes zijn, zeker met gewijzigde meetprotocollen, alternatieve meetmethoden te bedenken. Het betreft dan meetmethoden die over het algemeen de eerste testen hebben doorstaan en waarvan de eerste resultaten veelbelovend zijn, of meetmethoden die reeds voor andere brontypes worden toegepast. De alternatieve meetmethoden voor ammoniak zijn per brontype in tabel 2.3 weergegeven.

**Tabel 2.3** Type bronnen en alternatieve meetmethoden voor ammoniakemissiemetingen

TYPE BRONNEN	ALTERNATIEVE MEETMETHODE
Gebouwen met een gerichte uitlaat van lucht (mechanisch geventileerd)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Passieve fluxbuisjes (PFS) in ventilatiekokers</li> <li>○ Eenvoudig NH<sub>3</sub>-vangsysteem (natchemisch, Willems badges, denuders) gecombineerd met meetventilator</li> <li>○ Interne bronsterkte tracergasmethode met combinatie canister en kleine denuder</li> </ul>
Gebouwen met een duidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerd, kleine inlaat)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Interne bronsterkte tracergasmethode met combinatie canister en kleine denuder</li> <li>○ Interne bronsterkte tracergasmethode met canister en eenvoudig NH<sub>3</sub>-vangsysteem (natchemisch, Willems badges, denuders)</li> </ul>
Gebouwen met een onduidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerd, open front/ grote inlaat)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Buiten de stal fluxraammethode met fluxbuisjes (PFS)</li> <li>○ Buiten de stal pluimmethode met tracergas gemeten met combinatie canister en kleine denuder</li> <li>○ Buiten de stal pluimmethode met tracergas gemeten met snelle sensoren voor NH<sub>3</sub> en SF<sub>6</sub></li> </ul>
Gebouwen met een uitloop voor dieren in de buitenlucht	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Buiten de stal fluxraammethode met fluxbuisjes (PFS)</li> <li>○ Buiten de stal pluimmethode met tracergas gemeten met combinatie canister en kleine denuder</li> <li>○ Buiten de stal pluimmethode met tracergas gemeten met snelle sensoren voor NH<sub>3</sub> en SF<sub>6</sub></li> <li>○ Mechanisch geventileerde stal volgens hiervoor beschreven methoden bemeten en uitloop bemeten volgens de snelle box methode (broeikasgassen en NH<sub>3</sub>).</li> </ul>
Open veld	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fluxraammethode met fluxbuisjes (PFS)</li> <li>○ Gradiënt met eenvoudig NH<sub>3</sub>-vangsysteem (AMANDA, natchemisch, Willems badges, denuders)</li> <li>○ Pluimmethode met tracergas gemeten met combinatie canister en kleine denuder</li> <li>○ Pluimmethode met tracergas gemeten met snelle sensoren voor NH<sub>3</sub> en SF<sub>6</sub></li> <li>○ Statistisch model met actuele meteorologische informatie en management informatie als input</li> </ul>

De resultaten van toepassing van zowel traditionele als alternatieve meetmethoden zijn uitvoerig in rapporten gedocumenteerd. Een overzicht wordt gegeven in bijlage 2.1 t/m 2.5.

## 2.5 Analyse van bestaande meetreeksen

Een belangrijke vraag bij de beoordeling van bestaande protocollen en het ontwerp van nieuwe protocollen is de vraag of de vastgelegde frequentie van metingen, de tijdstippen waarop wordt gemeten en de middelingstijd kosteneffectief is in relatie tot de kwaliteit van de verkregen gegevens. De huidige meetprotocollen voor verschillende diergroepen en stalsystemen zijn vastgelegd ter borging van de kwaliteit van de metingen (Beoordelings-richtlijn, 1996; Ogink en Mol, 2002). Belangrijke aspecten in de protocollen zijn de tijdstippen waarop wordt gemeten (seizoenen), de tijdsduur van de metingen (opleg cyclus, etc.), het aantal metingen, de resolutie van de metingen in de tijd en de meetmethode.

Kenmerk van de huidige protocollen is, dat gedurende lange perioden continu wordt gemeten. Uit hoofde van die meetinspanning is het aantal bedrijven, dat wordt bemeten gering. Zowel uit geur als uit ammoniakmetingen bleek, dat de variatie in emissie tussen bedrijven groot was (Ogink en Klarenbeek, 1997). Daarnaast boden de langdurige meetreeksen een goed aanknopingspunt om deze meetreeksen met hoge resolutie in de tijd te analyseren op de mogelijkheid tot het gebruik van een veel geringer aantal metingen, zonder veel aan nauwkeurigheid van de emissieschatting in te boeten (Akkermans en Goedhart, 2001; Goedhart, 1998a, 1998b, 1998c, 1999, 2000; Hendriks, 1998, 1999a, 1999b).

De meetwaarden uit de geanalyseerde meetreeksen vertonen een patroon, waarvan niet op voorhand duidelijk is hoe dit als resultante van een groot aantal beïnvloedende variabelen tot stand komt. Voor een goede wiskundige analyse is het gewenst de invloed van de verschillende variabelen en hun invloed op de variantie van het signaal uiteen te rafelen. Als dat goed lukt, kan de emissie als resultante van de variabelen worden beschreven en een bandbreedte voor de totale variantie worden aangegeven. Door de gemiddelde emissie als resultante van de beïnvloedende factoren uit te rekenen en de variantie binnen de gevonden verdeling toe te voegen kan een meetsignaal worden gesimuleerd. Dat signaal kan weer worden gebruikt om verschillende meetstrategieën te testen en te zien of het resultaat voldoende dicht bij de berekende gemiddelde emissie ligt. De gevolgde procedure voor analyse komt kort gesteld op het volgende neer:

1. Beschouw de meetwaarden als een waarde die behalve van het aantal dierplaatsen afhankelijk is van een aantal beïnvloedende variabelen als buitentemperatuur, binnentemperatuur, ventilatie debiet, luchtvochtigheid (niet alle factoren worden altijd in de analyses meegenomen) en de eventuele gewichtsverandering van de dieren in de tijd.
2. De emissie per dierplaats bestaat uit de werkelijke waarde als resultante van de eerder genoemde relaties plus de som van een aantal varianties (afhankelijk van het aantal beschouwde variabelen).
3. Rekening houdend met het onder 1 en 2 genoemde wordt een "best fit" berekend, die het verloop van de werkelijke waarden voor de emissie per dierplaats zou weergeven in de tijd. Hiertoe worden lineaire, exponentiële- en logistische verbanden beproefd.
4. Op basis van de gevonden verbanden kunnen meetreeksen worden gesimuleerd, al dan niet voorzien van een autocorrelatiefunctie. Het voordeel hiervan is, dat deze reeksen enerzijds zeer realistisch zijn en dat er anderzijds grote aantallen gesimuleerde reeksen kunnen worden aangemaakt.

5. Op deze nagebootste emissiecurven worden diverse monsternemingsprotocollen losgelaten, die voor bepaalde tijdstippen waarden opleveren. Deze waarden worden gebruikt om emissiefactoren te schatten. Gebruik van hetzelfde protocol op meerdere meetreeksen geeft inzicht in de gemiddelde emissie en de spreiding rond de gemiddelde emissie voor dat protocol. De gevonden emissies in het protocol worden vergeleken met de “werkelijke” emissies uit de simulatie. Een ideaal protocol zou qua berekende emissie een geringe afwijking van de werkelijkheid moeten vertonen met een geringe spreiding.
6. Verschillende protocollen kunnen worden doorgerekend en op deze wijze met elkaar worden vergeleken.

De analyse op toepasbaarheid van andere protocollen werd voor melkvee, vleesvarkens, guste en dragende zeugen en leghennen uitgevoerd (voor referenties zie vorige pagina). De algemene conclusies naar aanleiding van deze analyses luiden aldus:

1. Voor dieren die een groeicurve vertonen is een duidelijke relatie tussen de emissie en de tijd waarneembaar.
2. De relatie tussen de buitentemperatuur en de emissie is soms wel en soms niet aanwezig en alleen echt duidelijk voor hoge buitentemperaturen.
3. De relatie tussen de emissie en het ventilatievoud, de binnentemperatuur, de relatieve luchtvochtigheid (in de buitenlucht) en de waterdampspanning (in de buitenlucht) is zelden aantoonbaar.

De algemene conclusies zijn daarmee:

1. Het is zinvol om de emissies achteraf met behulp van variabelen zo mogelijk te simuleren om daar verschillende meetprotocollen aan te toetsen.
2. De verbanden tussen emissie en belangrijke variabelen als temperatuur en luchtvochtigheid blijken zo wisselend van karakter te zijn (zelfs binnen één stal), dat deze verbanden alleen geschikt zijn voor de simulatie van een specifieke meetreeks. Voor simulatie van meetreeksen is dat geen probleem. De variatie heeft wel tot gevolg, dat de verbanden niet universeel zijn en derhalve niet voor modelschattingen van de emissie kunnen worden gebruikt

Ten aanzien van de geteste protocollen zijn de volgende conclusies te trekken:

1. De nauwkeurigheid neemt toe met het aantal metingen, doch bij een geschikte keuze van de meettijdstippen kan het aantal metingen een factor tien worden gereduceerd, zonder veel aan nauwkeurigheid in te boeten.
2. Hoe langer de periode is, waarover het protocol zich uitstrekt, hoe beter de emissie wordt geschat. Dit is niet verwonderlijk, omdat zo meer variatie van weersinvloeden wordt meegenomen en de emissie beter wordt glad gestreken tot seizoens- of jaar gemiddelden.
3. Hoe groter de periode tussen de metingen is bij een gelijk aantal metingen, hoe beter de voorspellende waarde is, omdat autocorrelatie (het sterk lijken van het resultaat van een meting op de voorgaande meting) dan geen grote rol meer speelt.

4. Protocollen met een random tijdstip van begin en daarna meting op vaste tussenpozen en protocollen met een vast aantal random metingen per tijdseenheid (maand) scoren qua nauwkeurigheid vrijwel gelijk.

Algemene conclusie ten aanzien van de analyse van mogelijke protocollen is, dat metingen gedurende een lange periode (jaar) met systematische tussenliggende tijdsafstanden of random tijdsafstanden de autocorrelatie gering maken. Dit heeft de voorkeur boven de gebruikelijke kortere perioden met intensieve metingen. De intensiviteit voegt door autocorrelatie niet veel informatie toe.

Autocorrelatie kan ook door het management worden geïntroduceerd. Het gebruik van een mestschuif, het legen van banden, spoelen, etc. zal een regelmaat in het verloop van de emissie kunnen introduceren. Wanneer een onafhankelijk steekproefschema (random) wordt gebruikt zal bij voldoende data weinig invloed van deze regelmaat in de emissieschatting merkbaar zijn. Hanteren we een steekproefschema met random tijdstip van begin en vaste tussentijden, dan dient de tussentijd zodanig te worden gekozen, dat een relatie met de regelmaat van emissie wordt vermeden. Kennis van de co-variabelen wordt daarmee voor het ontwerp van een proefschema essentieel. Hier wordt met nadruk op gewezen, omdat een schema met regelmatige tussentijden, qua planning voor alle betrokkenen vaak efficiënter is dan een random schema.

Voor geurmetingen werd een analyse uitgevoerd waarin naar variatie binnen de meetmethode, variatie binnen een bedrijf en ditmaal ook variatie tussen bedrijven werd gekeken (Ogink en Klarenbeek, 1997). Het protocol voorzag in 5 metingen per periode en metingen in een zomer en een winterperiode. Geen jaarrond metingen, zoals uit de conclusies van de protocol analyse zou volgen, maar wel met tussentijden, die de invloed van autocorrelatie reduceren. In dit geval werden voor varkensstallen en zeugen stallen wel relaties tussen emissie en ventilatiedebiet gevonden. De conclusies van de variantie analyse luiden als volgt:

1. De verschillen in variantie kunnen tussen diersoorten (hier vleesvarkens en zeugen) aanzienlijk verschillen.
2. De verhouding tussen de variantie van de analyse, variantie binnen de stal en tussen bedrijf variantie kan sterk verschillen.
3. De variantie van de geuranalyse speelt meestal een onbelangrijke rol, omdat voor de berekening van de totale variantie op de meetwaarden van alle bedrijven, herhalingen binnen het bedrijf en eventuele duplo's tezamen genomen mogen worden.
4. De variantie binnen een bedrijf is vaak groot, doch de invloed op de totale variantie wordt zowel bepaald door het aantal herhalingen binnen een bedrijf als het aantal bedrijven waar herhaalde metingen worden uitgevoerd, waardoor de aantallen herhalingen de invloed op de totale variantie drukt.
5. De variantie tussen bedrijven was in deze studie kleiner dan de variantie binnen bedrijven. Door het geringere aantal waarnemingen (beperkt aantal bedrijven) is de invloed op de totale variantie toch vrij groot.
6. De herhalingsaantallen dienen in de verschillende variantielagen in evenwicht te zijn.

Algemene conclusie naar aanleiding van de variantie analyse is, dat een zo goed mogelijk beeld van de emissie van een diercategorie in een bepaald staltype wordt verkregen door bij meerdere stallen te meten en de metingen per bedrijf met vaste tijdintervallen of random te herhalen. De nauwkeurigheid van de analysemethode speelt een ondergeschikte rol door het grote aantal waarnemingen.

De huidige protocollen bieden veel informatie, waarmee veel inzicht in emissieprocessen is verkregen. De informatiedichtheid is echter niet nodig voor het verkrijgen van betrouwbare emissieschattingen, omdat door autocorrelatie geen onafhankelijke gegevens worden verkregen. De beperking tot één of twee perioden per jaar (zie bijlage 1) kan beter worden vervangen door jaarrond metingen. Een beeld van de variatie in meteorologische variabelen, die niet constant is over het jaar, wordt gegeven in bijlage 3.

Een nieuw protocol zou (indien mogelijk) metingen bij meer bedrijven dienen te omvatten, moeten voorzien in herhaalde metingen bij een bedrijf (random of met een vast schema, mits dit laatste niet interfereert met management cycli) met voldoende tijdsafstand om autocorrelatie van gering belang te laten zijn en jaarrond moeten worden uitgevoerd. Dit betekent, dat de meetmethode eenvoudig uitvoerbaar moet zijn met een minimum aan benodigde installatietijd in verband met de kosten. Op de nauwkeurigheid van de analysemethode mag ingeleverd worden zolang de variantie in emissie tussen stallen en de variantie van emissie binnen de stal groter is dan de variantie van de meetmethode. Er dient bij een gegeven aantal metingen en een bepaalde verdeling van de metingen tussen stallen en binnen de stal naar een balans van de varianties te worden gestreefd. De variantie van de meetmethode heeft vaak een geringe invloed op de totale variantie, zodat toename van die variantie nauwelijks leidt tot toename van de totale variantie.

Deze bevinding kan tot verruiming van de inzet van meetmethoden leiden. Nieuwe protocollen dienen door middel van variantieanalyse te worden getoetst op optimale inzet van middelen voor een gewenste nauwkeurigheid. Het aantal op te nemen metingen van variabelen kan gezien de wisselende relaties met de emissie ook worden gereduceerd, tenzij men diepte analyses wil uitvoeren. Een duidelijke keuze voor het doel van de metingen, bijvoorbeeld bepaling van een emissiefactor voor een bepaalde stal en diercategorie of vaststelling van de invloed van processen op de emissie kan met name voor de bepaling van de emissiefactor de kosten aanzienlijk verlagen.





### 3 Eisen aan de meetstrategie en ontwerp van een meetstrategie

In hoofdstuk 2 is vastgesteld dat de vraagstelling voor metingen afhankelijk is van de gebruikersgroep en sterk kan variëren. Bestaande protocollen kunnen worden aangepast op grond van verkregen nieuwe inzichten in meettijdstippen en duur. Nieuwe meetmethoden kunnen worden ingebracht en kunnen mogelijkheden bieden tot het opzetten van nieuwe meetstrategieën. De behoefte aan minder metingen per stal, maar bij meer stallen en de ontwikkeling van nieuwe stalsystemen vragen om nieuwe meetstrategieën en eventueel nieuwe protocollen. Omdat een systematische aanpak daarbij van belang is wordt in dit hoofdstuk stil gestaan bij de eisen waaraan een meetstrategie moet voldoen. Daarbij wordt stilgestaan bij de randvoorwaarden, die uitvoering van de metingen bepalen, de factoren die de metende instantie in ogenschouw moet nemen voordat tot meting wordt overgegaan en de eisen aan de meetlocatie.

#### 3.1 Overleg tussen opdrachtgever en meetinstantie

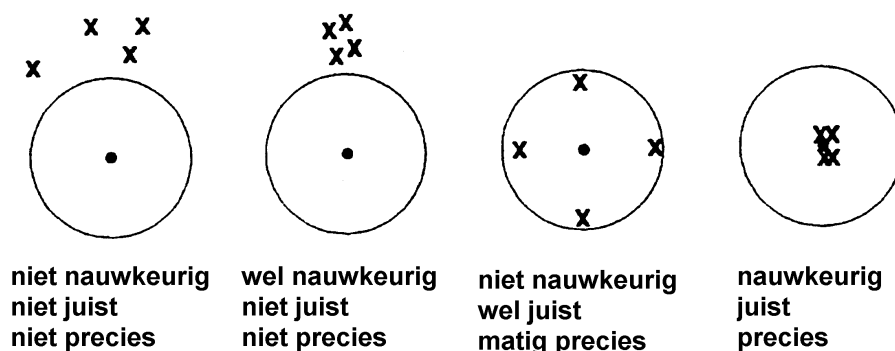
De meetvragen moeten vooral door de opdrachtgevers worden geformuleerd, met ondersteuning van de opdrachtnemers om de soms abstracte en nog te vaag geformuleerde vragen te concretiseren. Ten aanzien van de eisen aan de metingen zou er een gelijke inbreng van beide partijen moeten zijn. De opdrachtnemer brengt expertise in over mogelijke meetmethoden, meetstrategieën, de praktijkkennis en kennis over de kosten. De opdrachtgever moet een duidelijk beeld krijgen van de inspanningen en de kosten om bepaalde nauwkeurigheden of representativiteit te bereiken en kan zo tot een afweging komen. De eisen aan metingen worden in een aantal categorieën opgedeeld. In tabel 3.1 worden de categorieën genoemd en kort beschreven.

Uit de tabel blijkt dat de afwegingen die gemaakt moeten worden beginnen bij een juiste en nauwkeurige vraagstelling. Bij het huidige onderzoek naar emissiefactoren voor ammoniak is de vraagstelling bijvoorbeeld heel duidelijk. Het gemeten cijfer moet echter aan veel randvoorwaarden voldoen. Uiteindelijk wordt het antwoord op de vraag naar een emissiefactor voor een bepaald type stal gebaseerd op een beperkt aantal stallen, die met grote nauwkeurigheid zijn gemeten. Door de grote variatie in emissies tussen stallen kan de berekende gemiddelde emissiefactor als gevolg van het geringe aantal bemeten stallen echter sterk afwijken van de gemiddelde emissie van de hele populatie stallen van dit type. Mathematisch uitgedrukt;  $\sigma_{\text{totaal}}^2 = \sigma_{\text{interstal}}^2 + \sigma_{\text{intrastral}}^2 + \sigma_{\text{analyse}}^2$ . De grootste variantie bepaalt in sterke mate de totale variantie. We moeten dus streven naar een juiste balans tussen de verschillende varianties om een zo nauwkeurig mogelijke schatting voor de totale populatie te verkrijgen.

**Tabel 3.1** Categorieën van eisen en voorwaarden bij de uitvoering van metingen

Categorie	Beschrijving
Instrumentele eisen	De meetmethode moet adequaat zijn voor beantwoording van de gestelde vragen; bijvoorbeeld processtudies: hoog oplossend vermogen in de tijd Oriënterende metingen: snel en juist uitgevoerd.
Representativiteit	Heeft betrekking op de ruimte, de tijd, management cyclus, groeicyclus en omgevingcondities waarover de metingen zich uitstrekken. Voor deze beïnvloedende factoren dienen geen extremen of systematische afwijkingen van de gemiddelde situatie op te treden. Systematische afwijkingen kunnen bij opschaling grote consequenties hebben.
Juistheid	De meting moet een getal opleveren, dat geen <u>systematische afwijking</u> van de werkelijkheid vertoont.
Nauwkeurigheid	Bij herhaling van de metingen dient bij gelijke emissie een <u>geringe toevallige variatie</u> rond de gemiddelde meetwaarde op te treden. Dit is de analyse variantie.
Precisie	De som van juistheid en nauwkeurigheid dient aan de gestelde eisen te voldoen.
Absoluut/relatief meetgetal	Bij verhoudingen is het niet belangrijk of de absolute waarden juist zijn maar moet de verhouding wel goed kunnen worden bepaald.
Meetperiode	Metingen ondervinden invloed van cycli welke zich uitstrekken van minuten tot jaren, bijvoorbeeld mestschuiven (korte cyclus), weersomstandigheden (seizoenscyclus), groeicurve van dieren. De metingen moeten zich minimaal uitstrekken over één cyclus. De langste cyclus (jaarfluctuatie) is daarbij maatgevend.
Totale variantie	Er dient te worden gestreefd naar een verdeling van de metingen over verschillende stallen en herhalingen binnen de stal op zodanige wijze, dat de totale variantie gegeven het aantal metingen minimaal is.
Fraudegevoeligheid	Opdrachtgevers tot een onderzoek kunnen belang hebben bij de uitkomsten van dat onderzoek, detectie van mogelijke manipulatie of onwaarschijnlijke uitkomsten in de data is belangrijk.
Kwaliteitsborging	Protocollen zijn vastgesteld om de kwaliteit van metingen te borgen en vergelijkbaarheid van uitkomsten te bewerkstelligen. Protocollen dienen daarom strikt te worden gehandhaafd.
Gaskeuze	Ammoniak, broeikasgassen, geur, stof. Integrale aanpak is wenselijk.
Kosten	Bij voorkeur de beste resultaten tegen de geringste kosten. Juiste nauwkeurige vraagstelling beperkt de kosten.

De begrippen juistheid, nauwkeurigheid en precisie kunnen aanleiding geven tot verwarring. In figuur 3.1 zijn de begrippen juistheid, nauwkeurigheid en precisie schematisch aangegeven.



**Figuur 3.1** Aanduiding van de begrippen nauwkeurigheid, juistheid en precisie aan de hand van een schema. Het centrum van de cirkel geeft de werkelijke waarde aan. De kruisjes zijn de meetwaarden.

De formuleringen in tabel 3.1 zijn nogal abstract. Ter verduidelijking is in tabel 3.2 een uitwerking gegeven van tabel 3.1 voor de meting van een ammoniakemissiefactor binnen het huidige ammoniak meetprotocol. De beschrijving van de mate waarin het huidige ammoniakprotocol volgens tabel 3.2 aan de eisen uit tabel 3.1 voldoet geeft aanleiding tot de opmerkingen in tabel 3.3. In de behandeling van concrete gevallen (cases) in hoofdstuk 5 wordt dieper ingegaan op de variatie bij diercategorieën, stalsystemen, meetsystemen en managementstijlen.

**Tabel 3.2** Uitwerking van tabel 3.1 naar vraagstelling voor een ammoniakemissiefactor

Categorie	Beschrijving
Instrumentele eisen	Voor emissiefactoren is een processtudie niet noodzakelijk. De voorgeschreven continue meting met converter-NO <sub>x</sub> monitor of B&K monitor geeft echter wel resultaten die processtudies mogelijk maakt.
Representativiteit	Een emissiefactor wordt meestal gemeten in één (prototype) stal, waardoor vraagtekens kunnen worden gezet bij de representativiteit van de factor voor het ensemble aan te bouwen stallen.
Juistheid	Juistheid van de meting wordt gewaarborgd door correcte ijking van de meetapparatuur.
Nauwkeurigheid	De converter NO <sub>x</sub> monitor levert zonder meer voldoende nauwkeurige resultaten. De B&K vertoont een grotere variantie, waardoor over meer metingen moet worden gemiddeld om dezelfde nauwkeurigheid als van de converter NO <sub>x</sub> monitor te halen. Als gevolg van het continue karakter van de metingen vormt dit geen probleem.
Precisie	De precisie van beide methoden voor de ammoniakbepaling is goed. De precisie van de meetventilator voor debietbepaling bij mechanische ventilatie is ook goed. De precisie van de debietbepaling via de tracergasmethode (natuurlijke ventilatie) zal sterk afhangen van de goede en homogene menging van de tracer in de stal.
Absoluut/relatief meetgetal	De vraag is een absoluut getal (met decimale cijfers). Bij metingen waarbij een referentie wordt meegenomen en dus een verhouding kan worden berekend wordt deze informatie niet gebruikt.
Meetperiode	De huidige protocollen richten zich op een jaargemiddelde schatting, doch schrijven metingen voor in een beperkte periode (bijvoorbeeld een meetperiode in de zomer en één in de herfst).
Totale variantie	De gemiddelde emissie wordt bepaald over één of een beperkt aantal meetlocaties, waardoor de variantie tussen de stallen wordt onderschat en de totale variantie groter is dan nodig bij een gelijk aantal metingen, dat over meer stallen is verdeeld.
Fraudegevoeligheid	Door het intensieve meetprogramma is fraude nagenoeg onmogelijk.
Kwaliteitsborging	Het goed beschreven protocol borgt de kwaliteit van metingen en de vergelijkbaarheid van uitkomsten, mits aan het protocol wordt voldaan. Borging door een onafhankelijke begeleidingscommissie of instituut is formeel niet voorzien, doch wordt door ad hoc commissies ter hand genomen.
Gaskeuze	Het huidige protocol beperkt zich tot ammoniak. Sinds 2001 wordt ammoniak ook gecombineerd met het geurprotocol gemeten.
Kosten	Doordat veel informatie wordt gevraagd is het meten van een emissiefactor kostbaar.

**Tabel 3.3** Toetsing van het huidige ammoniak meetprotocol aan de eisen uit tabel 3.1

Categorie	Opmerking
Instrumentele eisen	Eenvoudige meetmethodes zouden hier kunnen volstaan i.p.v. de Converter-NO <sub>x</sub> methode of B&K.
Representativiteit	Het feit dat vaak 1 stal wordt bemeten en vaak ook nog een prototype waar alle werkzaamheden met grote zorg worden uitgevoerd, geeft een nauwkeurige schatting voor deze stal, doch hoeft in verband met inter stal variatie niet representatief te zijn voor dezelfde stallen die later worden gebouwd.
Representativiteit	Er is in het huidige protocol gekozen om de systemen in een beperkt aantal perioden te meten. Dit geeft een vertekend beeld van de werkelijke jaargemiddelde situatie.
Kosten	Het huidige protocol levert veel informatie op, maar doet dat tegen hoge kosten. Er kan op de hoeveelheid te verzamelen informatie worden bezuinigd, zonder dat de precisie van de schatting veel achteruit gaat.

## 3.2 Controle op de randvoorwaarden voor goede metingen

In de huidige werksituatie bij de metingen naar ammoniakemissiefactoren wordt de meetlocatie bepaald door de aanvrager van een meting en zal de uitvoerende meetinstantie aangeven wat de vereisten zijn om de metingen te kunnen uitvoeren. Deze worden in tabel 3.4 genoemd.

**Tabel 3.4** Categorieën van eisen en voorwaarden die bepalen of metingen uitgevoerd kunnen worden

Categorie	Beschrijving
Beschikbaarheid meetlocatie	Een daadwerkelijke praktijkstal of perceel moet beschikbaar en betreedbaar zijn gedurende de gevraagde meetperiode. Daarnaast moet met name bij veldmetingen de bereikbaarheid van een meetlocatie worden getoetst (aanwezigheid kavelpad).
Installatie mogelijkheid	Meetapparatuur moet indien nodig in de meetlocatie kunnen worden geplaatst of hiervoor moeten aanpassingen gemaakt kunnen worden (aparte stroomgroep e.d.).
Verstoringsen	Met name bij open situaties (veldmetingen, open stallen) waarbij windsnelheid en -richting de emissie beïnvloeden kan verstoring zeer problematisch zijn. Het blijft in praktijksituaties een compromis tussen theoretische eisen en de praktijk.
Achtergrondconcentraties	Bij lage concentraties in de stal of hoge concentraties in de buitenlucht is het moeilijk om het verschil tussen achtergrond en meetobject te meten. Hierbij spelen meetnauwkeurigheid van de apparatuur en verdunning een rol.

Wanneer een meetlocatie niet wordt aangewezen maar door de meetinstantie moet worden gekozen is de representativiteit van de meetlocatie belangrijk. Via de vraagsteller moet een eerste

idee over de representativiteit van de meetlocatie worden verkregen. Het is mogelijk om de metingen te combineren met andere gassen dan wel omgevingsparameters. Hiervoor moet de meetinstantie de eisen aan de meetlocatie eventueel aanpassen (inclusief extra kosten voor extra metingen).

De eisen in tabel 3.4 omvatten vooral randvoorwaarden om te bepalen of metingen zouden kunnen worden uitgevoerd. Is het antwoord hierop positief dan komen specifieke eisen ten aanzien van de meetlocatie aan de orde. Deze eisen zijn weergegeven in tabel 3.5. Met name het genoemde punt van informatie is zeer belangrijk. Bedrijfsinformatie kan een cruciale rol spelen in de verklaring van meetresultaten. Deze informatie moet dan ook zonder terughoudendheid worden vrijgegeven. Natuurlijk zal de meetinstantie zorgvuldig met de informatie om moeten gaan.

**Tabel 3.5** Categorieën van eisen en voorwaarden aan de meetlocatie

Categorie	Beschrijving
Hygiëne maatregelen	Meetlocatie moet minimaal bedrijfskleding ter beschikking stellen of de metende instantie moet wegwerp kleding meenemen ter gebruik op de locatie.
Hinder	Metingen en meetopstelling dienen de normale bedrijfsvoering niet te hinderen.
Stroomuitval	Metingen moeten geen stroomuitval voor het gehele bedrijf kunnen veroorzaken (aanvoer stroom via aparte groep)
Informatie	Gegevens over de bedrijfsvoering moeten, indien noodzakelijk voor de onderbouwing van de meetresultaten, worden doorgegeven aan de metende instantie.

Naast eisen aan de meetlocatie dienen ook eisen aan de meetinstantie te worden gesteld. Deze zijn weergegeven in tabel 3.6

**Tabel 3.6** Eisen aan de metende instantie

Categorie	Beschrijving
Kwaliteitsborging	Werken volgens bestaande protocollen of onder begeleiding van een begeleiding commissie van experts. Analyse volgens bestaande normvoorschriften. Periodieke ijking van instrumenten.
Expertise	Kennis van bedrijfstypen en managementsystemen om daar met de metingen op in te kunnen spelen. Kennis van de regelgeving ten behoeve van het opstellen van protocollen. Kennis van de mogelijkheden en beperkingen van de diverse soorten instrumenten, die voor de metingen kunnen worden gebruikt.
Apparatuur	Beschikbaarheid van de meest geschikte apparatuur. Kwaliteitscontrole, onderhoud en ijking

## 4 Herziening van meetprotocollen

De conclusie, dat jaarrond metingen de voorkeur hebben boven metingen gedurende bepaalde perioden en de wisselende verbanden tussen meteorologische variabelen doen de vraag rijzen of het gehanteerde protocol in het verleden geschikt was om deze meteorologische invloeden op de emissie te kwantificeren, of dat deze verbanden door autocorrelatie juist minder duidelijk zijn geworden. Slechts in extreme situaties (bijvoorbeeld bij hoge temperaturen) kwamen deze verbanden naar voren. De verkregen inzichten in bronnen van variantie, de ontwikkeling van nieuwe meettechnieken en de noodzaak tot korter durende metingen bij meer stallen zouden aanleiding moeten geven tot herziening van bestaande protocollen. Afstemming van de metingen op de meetdoelen en overleg daarover tussen opdrachtgever en opdrachtnemer zal vragen om meer en specifiekere protocollen. Belangrijke punten voor herziening van bestaande protocollen worden in de volgende paragrafen weergegeven.

### 4.1 Variabiliteit van systemen

De oude meetprotocollen waren vastgesteld om de kwaliteit van metingen te borgen. In paragraaf 2.5 kwamen de sterke en zwakke punten van de bestaande meetprotocollen aan de orde. Duidelijk is, dat bij de bestaande meetprotocollen geen aandacht is besteed aan de variabiliteit van emissies tussen bedrijven, terwijl deze factor zeer belangrijk is wanneer er een nauwkeurig getal voor bijvoorbeeld de emissiefactor voor een bepaald bedrijfssysteem moet worden verkregen. De conclusies uit hoofdstuk 2.5 geven aan, dat niet alleen op meer bedrijven moet worden gemeten, maar dat ook korter kan worden gemeten, omdat lange meetseries door autocorrelatie naar verhouding weinig extra informatie opleveren. Voor een nieuwe meetstrategie en eventueel nieuwe meetprotocollen dient daarom te worden gestreefd naar meetmethoden, die snel te installeren en snel te verwijderen zijn, zodat de installatiekosten voor de nieuwe meetstrategie niet onevenredig zwaar op de totale kosten gaan drukken.

### 4.2 Jaarrond metingen

Het gebruik van voorgeschreven seizoenen waarin wordt gemeten kan systematische fouten opleveren in emissieschattingen. Jaarrond metingen zijn in principe beter en ook kostentechnisch uitvoerbaar als niet continu hoeft te worden gemeten, zoals beschreven in het huidige protocol. Ter illustratie van de stelling dat beter jaarrond kan worden gemeten dan bijvoorbeeld in zomer en najaar of winter geeft tabel 4.1 een overzicht van gemiddelden en variatie in meteorologische grootheden over de maanden van het jaar. De hier als voorbeeld gebruikte gegevens gelden voor midden Nederland. De gegevens zijn ontleend aan de klimaatatlas van Nederland (KNMI, 1972) en voor de windsnelheidsverdeling gebaseerd op een Weibullverdeling van de windsnelheden volgens Wieringa en Rijkoort (1983).

**Tabel 4.1** Overzicht van meteorologische omgevingsfactoren voor midden Nederland. Temperaturen in °C, relatieve luchtvochtigheid in %, gemiddelde windsnelheid in m.s<sup>-1</sup>, windsnelheidsklassen als percentage van totaal voorkomen

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
$\bar{T}$	1.5	2.0	5.1	8.5	12.5	15.5	17.4	17.0	14.5	10.0	5.8	2.8
$\sigma_T$	2.8	3.2	1.8	1.5	1.2	1.1	1.0	1.2	1.3	1.2	1.3	2.1
$\Delta T_{\text{dag}}$	5.4	6.0	8.0	9.5	10.5	10.8	10.0	10.0	9.5	7.5	5.5	4.5
RV% op (14.00 h)	83	78	65	61	60	60	65	65	68	75	83	85
$\bar{u}$ (m s <sup>-1</sup> )*	4.3	4.3	4.0	4.0	3.8	3.4	3.2	3.4	3.3	3.5	3.8	4.5
0<u<1.5	26.5	26.5	28.2	28.2	29.4	32.2	33.8	32.2	33.0	31.5	29.4	25.5
1.5<u<4	29.6	29.6	30.6	30.6	31.2	32.4	33.0	32.4	32.7	32.1	31.2	29.0
4<u<10	31.1	31.1	30.3	30.3	29.6	27.8	26.7	27.8	27.3	28.3	29.6	31.5
U>10	12.6	12.6	10.8	10.8	9.6	7.3	6.2	7.3	6.7	7.9	9.6	13.8

\* Windsnelheidsverdeling gebaseerd op de Weibull verdeling volgens Wieringa en Rijkoort (1983).

Niet alle combinaties van windsnelheid, luchtvochtigheid en temperatuur komen onafhankelijk van elkaar voor. De luchtvochtigheid is namelijk sterk gekoppeld aan de temperatuur (laag bij hoge temperatuur en ook laag bij koude lucht, die in de stal wordt opgewarmd). Deze omstandigheden zijn vaak ook nog gekoppeld aan hoge druk situaties, dus lage windsnelheden. Verder zal de luchtvochtigheid door afkoeling 's nachts (zie het gemiddelde dagverloop van de temperatuur) hoog zijn. Op basis van het verloop over de dag kan worden geconstateerd, dat voor nieuwe protocollen een minimale meetduur van 24 uur dient te worden aangehouden om deze variatie binnen de meting te vangen, tenzij op basis van modellering van dagcycli aan de hand van bestaande meetreeksen, korten kan worden gemeten ( een belangrijke factor in de kosten!). Er dient dan wel zekerheid te bestaan, dat de gemodelleerde dagcycli voor het te bemeten staltype geldig zijn. De meting bepaald dan feitelijk het niveau van de emissie. De onderlinge relatie tussen de verschillende meteorologische grootheden en de grote variatie daarin maken het gebruik van een klassenindeling minder geschikt dan random metingen of een random begin van de metingen gevolgd door metingen met vaste tussenpozen. Daarbij sluit deze conclusie aan bij die omtrent het gebruik van het Nieuw Nationaal Model voor de berekening van de luchtkwaliteit, waarbij reeds bij een geringe steekproefomvang de schattingen via de Monte Carlo methoden een betere schatting van het gemiddelde gaven dan de schatting via de klassenmethode.



Jaarrond meting kan gunstig zijn voor een representatieve schatting van emissies van bestaande stalsystemen, gebruik voor nieuwe systemen vormt een handicap. Het duurt immers een heel jaar, voordat gegevens over een nieuw systeem beschikbaar komen. Dit probleem kan worden ondervangen door een a priori schatting voor het nieuwe systeem te maken op basis van management modellen en schatting van de invloed van de gewijzigde parameters (temperatuur, bevuild oppervlak etc) op de emissie of voor totaal afwijkende systemen op basis van oriënterende metingen gecombineerd met overwegingen omtrent de representativiteit van de beïnvloedende variabelen. Daarmee wordt een voorlopige emissieschatting verkregen, die vervolgens kan worden getoetst aan jaarrond metingen. Definitieve emissiefactoren kunnen pas worden opgesteld als een bepaald systeem op meerdere bedrijven is toegepast en bemeten.

### 4.3 Aantal metingen

In de statistische analyse van gegevens, beschreven in paragraaf 2.5, zijn meetschema's opgenomen van een week meten, vervolgens één of meer weken niet meten enzovoort. Dit betekent dat deze analyses niet geschikt zijn om een benodigd aantal metingen uit te schatten voor gebruik in protocollen gebaseerd op dagmetingen. Nadere analyse van bestaande datasets voor benodigde aantallen metingen volgens nieuwe protocollen is mogelijk en ook gewenst.

Bij gebrek aan bruikbare gegevens over benodigde aantallen metingen per stal op basis van protocollen met dagmetingen kan een inschatting worden gemaakt via het maken van een meteorologische klassen indeling op basis van de gegevens van tabel 4.1. Een voorbeeld van zo'n indeling in klassen (voor Midden Nederland) is weergegeven in tabel 4.2.

Deze klassen indeling is arbitrair en zeker voor discussie vatbaar, doch heeft niet de pretentie om te dienen als basis voor een meetprotocol. De indeling geeft wel een logische groepering van voorkomende meteosituaties in een beperkt aantal klassen. Gaan we er van uit dat bij metingen gedurende 24 uur de verschillende nachtsituaties zeker mee genomen worden, dat kan met 7 klassen worden volstaan. Willen we gezien de grote variatie per klasse minimaal een duplometing per klasse, dan komen we uit op 14 meetdagen. Bij gebrek aan betere informatie wordt voorlopig voor nieuwe meetprotocollen van dit aantal (of het aantal 12 wat resulteert in 1 meting per maand) uitgegaan voor nieuwe protocollen. Het aantal van 12 metingen per jaar zal in de voorbeeldprotocollen van hoofdstuk 5 worden gehanteerd, behalve voor stallen met uitloop waar het alternatief van deze meteoklassen wordt gehanteerd en er van 14 metingen per jaar wordt uitgegaan. Dit is gedaan omdat voor stallen met uitloop de meteorologie een mogelijk nog belangrijker invloed heeft op de emissie dan in andere staltypen en er daarom toch voor is gekozen de meetomstandigheden zo te kiezen, dat alle klassen tweemaal aan bod komen.

**Tabel 4.2** Voorstel voor een klassen indeling voor schatting van het benodigd aantal metingen in een meetstrategie

Windsnelheid (m.s <sup>-1</sup> )	RV (%)	Temperatuur (°C)	Dag/nacht	Seizoen	Maanden
0<u<1.5	85-100	-4-+5	Nacht	Winter/voorjaar	jan, feb, mrt, apr, nov, dec
0<u<4	85-100	+5-+15	Nacht	Zomer/herfst	mei, jun, jul, aug, sept, okt
1.5<u<4	85-100	0-+10	Dag	Winter/herfst	jan, feb, nov, dec
1.5<u<4	60-85	0-+20	Dag	Voorjaar	mrt, apr
4<u<10	85-100	0-+10	Dag	Winter/herfst	jan, feb, nov, dec
4<u<10	60-85	0-+20	Dag	Voorjaar	mrt, apr
0<u<1.5	60-100	+5-+30	Dag	Laat voorjaar /zomer	mei t/m okt
1.5<u<4	60-100	+5-+30	Dag	Laat voorjaar /zomer	mei t/m okt
4<u<10	60-100	+5-+30	Dag	Laat voorjaar/ zomer	mei t/m okt

De meetaantallen zijn echter niet zonder meer in aantallen per stal weer te geven, omdat ook het aantal te bemeten stallen een rol speelt. Meetfouten worden uitgemiddeld onafhankelijk of de metingen in één stal of meerdere stallen worden uitgevoerd. Meer stallen brengen wel de variatie door management verschillen in, doch de uitmiddeling van meteorologische invloeden kan evengoed door metingen in één stal of in twee stallen gebeuren. Het aantal metingen per stal kan dus bij toename van het aantal te bemeten stallen afnemen. De juiste aantallen kunnen worden geschat door heranalyse van bestaande meetreeksen voor een monstertijd van een dag en kwantificering van de bijdragen van de variantie binnen de stal en tussen de stallen aan de totale variantie. Bij gebrek aan deze informatie is in hoofdstuk 5 per stal hetzelfde aantal metingen per stal aangehouden bij één of drie stallen. Dit geeft in werkelijkheid een overschatting van de kosten voor metingen bij meer stallen. Er zijn ook argumenten om bij het bemeten van stallen het aantal metingen te verhogen boven op de voorgestelde 12 of 14 metingen. Een stal zal uit de aard van de bebouwing, beplanting en belendende bronnen vaak slechts bij wind uit bepaalde richtingen te bemeten zijn. Ook de windrichting staat niet geheel los van de gehanteerde indeling van meteorologische klassen. Het is daarom raadzaam de stallen zodanig te kiezen, dat de windrichtingen zoveel mogelijk door metingen worden gedekt terwijl toch voldoende metingen per stal nodig zijn om de variantie van de emissies tussen de stallen laag te houden.

Tenslotte wordt hier nog eens met nadruk gesteld, dat deze exercitie met meteorologische klassen slechts dient om aantallen metingen te schatten. Andere cycli dan de meteorologische cycli, zoals groeicycli van de dieren, managementcycli in mestbehandeling etc. spelen ook een rol. Zodra deze cycli een periodiciteit hebben, die nadert tot de periodiciteit van de meetstrategie dreigt het gevaar van systematische afwijkingen van het gemiddelde. Een analyse van nieuwe meetprotocollen op gesimuleerde datasets is gewenst. Uit die analyses kan ook blijken of metingen korter dan 24 uur (één persoon één werkdag in plaats van één persoon twee werkdagen per meting) door gebruik van gemodelleerde dagcycli mogelijk is.

#### **4.4 Voorbereidingen voor nieuwe protocollen**

De eerste vraag, die rijst bij de voorbereidingen voor nieuwe protocollen is de vraag hoe de protocollen worden vastgelegd. Vastlegging van meetprotocollen in richtlijnen, ondertekend door de minister (huidige situatie) geven de beste zekerheid voor betrouwbare metingen. Door die vastlegging is het protocol echter niet flexibel en zijn voor verschillende systemen even zovele protocollen nodig. Bundeling van richtlijnen in een losbladig systeem, waarbij wordt geëist dat slechts met redenen omkleed (en op schrift) mag worden afgeweken van de richtlijn geven een flexibeler systeem, dat echter minder “waterdicht” is. Dit systeem kan door voortdurende aanpassing niet door de minister worden ondertekend.

Vervolgens kan worden overwogen om een analyse te maken van overeenkomsten en verschillen in protocollen om na te gaan of omvang en overzicht door gebruikmaking van een modulaire structuur kan worden geoptimaliseerd. De hier gepresenteerde overwegingen voor nieuwe protocollen zullen in een vervolg rapport worden uitgewerkt.

Een nieuw protocol kan moeilijk in één keer definitief worden vastgesteld, omdat er in de praktijk van uitvoering nog onverwachte zaken kunnen optreden. Voorafgaand aan het opstellen van een protocol is het daarom verstandig een concept protocol te maken, dat we in die fase liever meetstrategie noemen (zie definities). Die meetstrategie kan in de praktijk worden uitgetoetst. Onderdelen van een nieuwe meetstrategie kunnen zijn: het ontwikkelen van nieuwe meetmethoden die meer kosteneffectief zijn, de inzet van reeds ontwikkelde nieuwe meetmethoden, optimalisering van de meetstrategie op basis van wiskundige analyse van meetreeksen etc. Deze punten worden in het Plan van Aanpak in hoofdstuk 6 nader uitgewerkt.

Statistische analyse van bestaande gegevens om benodigde aantallen voor nieuwe strategieën af te schatten is reeds op basis van materiaal verkregen volgens bestaande protocollen mogelijk, omdat de protocollen zeer intensieve metingen voorschrijven. Het schatten van de verschillen in emissie tussen stallen kan mogelijk wat beperkingen ondervinden, omdat het aantal stallen van hetzelfde type, dat in dezelfde periode werd bemeaten gering is. Evaluatie van verkregen gegevens uit metingen volgens nieuwe protocollen om de bronnen van variantie (vooral binnen bedrijven en tussen bedrijven) af te schatten en de meetprotocollen te optimaliseren blijft daarom na invoering van nieuwe protocollen gewenst.



## 5 Uitwerking van een meetstrategie voor een drietal cases

### 5.1 Inleiding

Het aantal diercategorieën, waarvoor een meetstrategie en meetmethode kan worden uitgewerkt is groot (Beoordelingsrichtlijn, 1996). Worden daarvoor alle alternatieven naast bestaande protocollen gezet (voor zover aanwezig), dan zou dit rapport een grote omvang krijgen. Er is daarom noodzaak tot beperking tot enkele diergroepen, een beperkt aantal staltypen en slechts één gas dat wordt geëmitteerd. Voor de uitwerking zijn de randvoorwaarden (o.a. de aantallen) genoemd in hoofdstuk 4 gehanteerd. Wellicht ten overvloede wordt hier nogmaals gesteld dat de gebruikte aantallen metingen ruwe schattingen zijn op basis van de variabiliteit van emissie beïnvloedende omgevingsfactoren. Om kostentechnische redenen is naar een zo klein mogelijk aantal metingen gestreefd. De aantallen metingen kunnen slechts gefundeerd worden vastgesteld na statistische analyse van meetreeksen met de voorgestelde meetstrategie voor ogen. Omdat een vergelijking van de voorgestelde protocollen met bestaande protocollen kostentechnisch interessant is, zijn ook bestaande protocollen meegenomen voor zover deze voor het staltype aanwezig zijn.

Als voorbeeld voor een mechanisch geventileerde stal wordt gekozen voor een vleeskalveren stal. Voor ammoniak emissie in dit type stallen zijn reeds veel metingen volgens een bestaand protocol uitgevoerd. In dit geval is het van belang na te gaan of dezelfde informatie met dezelfde nauwkeurigheid tegen geringere kosten kan worden verkregen.

De situatie voor natuurlijk geventileerde stallen met geringe openingen naar de buitenlucht is vergelijkbaar met die voor mechanisch geventileerde stallen, zij het dat van andere meetmethoden gebruik wordt gemaakt. Dit type stal is reeds lang in gebruik voor melkvee, reden om hier voor melkvee stallen te kiezen en deze als voorbeeld uit te werken. Ook in dit geval is het interessant na te gaan of dezelfde informatie met dezelfde nauwkeurigheid tegen geringere kosten kan worden verkregen.

Een recente ontwikkeling vormen de zeer open stallen met uitloop. Voor deze stallen voldoen de huidige meetprotocollen niet. Zowel qua meetstrategie als meetmethoden dienen hier nieuwe wegen te worden ingeslagen. Zowel in verband met het belang van ammoniak emissies als vanwege de coherentie met de andere twee cases wordt ook hier voor ammoniak als gas gekozen. Een leghennenstal wordt hier als voorbeeld gekozen.

Naast de beschrijving van de mogelijke meetstrategieën in de 3 cases worden per case en per meetstrategie uitspraken gedaan over de randvoorwaarden bij de metingen (zie tabel 5.1 met een korte uitleg per punt).

**Tabel 5.1** Randvoorwaarden voor de verschillende meetstrategieën

Randvoorwaarde	Omschrijving
Inpasbaarheid personele en materiele inzet	Wanneer een langere periode continu moet worden gemeten kan personeel en materiaal niet op een andere locatie worden ingezet. Bij korte metingen kan personeel en materiaal uitgewisseld worden tussen locaties en zijn metingen beter inpasbaar. Dit is een kosten facet, zowel als een aspect van beschikbaarheid van ervaren personeel. Voor korte metingen dient de planning zodanig te zijn, dat 2 maal per maand en met voldoende tussentijd (>1 week) bij een stal kan worden gemeten.
Hoeveelheid en spreiding van informatie in relatie tot de meetstrategie	De benodigde hoeveelheid informatie hangt sterk af van het doel van de meting. Voor de bepaling van landelijke emissiefactoren kan een hoeveelheid informatie worden verkregen door zeer intensief op 1 locatie te meten (huidig protocol) of door minder intensief op meerdere locaties te meten. Variantie analyse geeft aan hoe de optimale verdeling moet zijn (grootste nauwkeurigheid bij geven kosten). Richt de meting zich op één stal, dan zal vooral de gewenste nauwkeurigheid en meetduur de keuze van de meetmethode en meetintensiteit bepalen. Richt de meting zich op meerdere stallen, dan zullen installatiekosten een sterke invloed uitoefenen op de keuze van de meetmethode.
Kwetsbaarheid fraude	Gezien het belang van de resultaten van metingen voor emissiefactoren is de kans op fraude aanwezig. De huidige meetmethode (continu-meting) heeft een lage kans op fraude. De continue meetreeks laat snel zien of managementingrepen ed. hebben plaatsgevonden terwijl de meetduur het volhouden van gerichte wijzigingen in het management moeilijk maakt. Met name kortdurende meetcampagnes kunnen fraude in de hand werken. Eén meting op een dag moet op een praktijkbedrijf worden aangekondigd. Een boer zou een systeem juist op de meetdagen extra goed kunnen beheren. Daar kan tegen worden ingebracht, dat het effect van ingrepen op de emissie lang niet altijd éénduidig is en ook emissieverhogend kan werken. Eventuele maatregelen ter voorkoming van fraude of detectie van fraude zullen in de kosten van de meetmethode worden ondergebracht.
Grenzen aan de meetmethode	Meetstrategieën kennen veelal bepaalde uitgangspunten (zoals homogene menging ed.). Deze uitgangspunten dienen tevens als randvoorwaarden bij de meting. De meetmethode zelf is ook gebonden aan een aantal randvoorwaarden, zoals detectiegrens, meetbereik, storing van andere gassen, aanstroomveld (meetventilatoren en fluxbuisjes) enz. Deze grenzen van inzetbaarheid dienen in de protocollen te worden opgenomen.

Belangrijke overwegingen om voor een bepaalde meetstrategie te kiezen zijn de kosten en de nauwkeurigheid. Ten aanzien van de nauwkeurigheid kan worden opgemerkt dat een meting op 1 locatie verkregen door zeer intensief te meten zeer nauwkeurig is voor deze locatie maar voor het doel opschaling juist slecht kan scoren.

Een grovere meetmethode gemeten op meerdere locaties kan minder nauwkeurig zijn per locatie maar een grotere nauwkeurigheid geven als gemiddelde voor een staltype. Zie hiervoor de paragraaf over variantieanalyse aan bestaande meetreeksen. Door benodigde aantallen metingen met installatiekosten en bedrijfskosten voor het behalen van een bepaalde totale nauwkeurigheid van een emissiefactor voor de verschillende methoden te vergelijken kan de gewenste nauwkeurigheid in kosten worden uitgedrukt.

Kosten voor de metingen omvatten de planning van de metingen, afschrijving van meetapparatuur, het ijken van apparatuur, het installeren van apparatuur, kosten voor aanpassing van een (onafhankelijke) energievoorziening van de meetapparatuur, meetkosten (energie, gassen, chemicaliën, arbeidstijd en reistijd), kosten voor de opname van management parameters, de-installatiekosten en kosten voor dataverwerking (trend en uitbijter analyse, verwerking ijklijnen), interpretatie (logica, functionele verbanden) en rapportage. Absolute kosten geven een beeld van de kosten op een bepaald tijdstip.

Voor de vergelijking van de diverse meetstrategieën kunnen de kosten beter absoluut worden gekwantificeerd en vervolgens voor de vergelijking van de verschillende meetstrategieën als relatieve maat in een overzicht worden weergegeven. Uitgangspunt is daarbij, dat de samenstellende kosten voor de diverse onderdelen min of meer vergelijkbare trends zullen vertonen, zodat de onderlinge verhouding in kosten min of meer dezelfde blijft.

## **5.2 Vleeskalveren stal met mechanische ventilatie**

### **5.2.1 Dynamiek van emissie van gassen voor een mechanisch geventileerde vleeskalveren stal**

Bij vleeskalveren schrijft het huidige meetprotocol een meetperiode van 2 mest rondes voor. Dit betekent volgens dit protocol tweemaal 6 tot 8 maanden continu meten. Vleeskalveren groeien in een productieronde van ongeveer 50 kg naar 250 kg. Op dit moment zijn wettelijk minimale welzijnseisen voor vleeskalveren beschreven waarbij het minimale oppervlak per dier afhankelijk van het gewicht tussen 1,5 en 1,8 m<sup>2</sup> ligt. De vleeskalveren sector is een homogene sector waarbij de meeste dieren in groepen op betonroosters worden gehuisvest. Het houden van kalveren in zogenaamde kisten is per 31 december 2003 verboden. Op dit moment zijn er geen emissie-arme kalveren stallen.

De stallen zijn vaak een combinatie van mechanische en natuurlijke ventilatie. Over het algemeen wordt gewerkt met een all in – all out systeem. Gedurende de eerste 8 weken zijn de dieren individueel gehuisvest en zeer kwetsbaar voor ziektes. De gewenste luchtbeweging zal in deze periode zeer laag zijn. Dit betekent in de praktijk dat de mechanische ventilatie uit staat en de deuren dicht zitten. De ventilatie vindt plaats via kleine inlaatopeningen. Na de individuele huisvesting neemt ventilatiebehoefte snel toe. Bij een grote ventilatiebehoefte (zwarte dieren en warm weer) wordt de mechanische ventilatie volledig benut en de deuren die voor de luchtinlaat worden gebruikt worden volledig open gezet. Door de grote inhoud van de stallen zal de

onderdruk onvoldoende zijn en de lucht niet alleen via de ventilatoren de stal verlaten maar ook via de openstaande deuren.

De vleeskalveren krijgen gedurende de productieronde meestal tweemaal per dag op vaste tijden melk gevoerd. Daarnaast wordt eenmaal per dag een kleine hoeveelheid mais gevoerd (wettelijk verplichte minimale ruwvoerverstrekking). Het voeren van melk geeft een plakkerige vette aanslag op alles wat in de stal aanwezig is. De mest van de vleeskalveren is zeer dun (als water).

## 5.2.2 Beschikbare meetmethoden

Metingen aan stallen met mechanische ventilatie worden tot op heden uitgevoerd volgens een vast protocol. Aannamen zijn daarbij, dat de verblijftijd van de lucht in de stal zodanig lang is, dat emissies voldoende tijd hebben om homogeen te mengen met de doorgevoerde lucht en dat de onderdruk van de ventilatoren ervoor zorgt, dat alle lucht de stal via de ventilatiekanalen verlaat. Door het totale ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met de gemiddelde concentratie van een geëmitteerd gas wordt de totale emissie van dat gas verkregen. Diverse mogelijke combinaties van meetmethoden zullen kort worden besproken. De meest veelbelovende zullen qua meetstrategie en qua kosten worden uitgewerkt:

1. NO<sub>x</sub> –monitor (NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en meetventilatoren (debietmetingen) **(M1)**
2. Passieve fluxbuisjes (PFS; NH<sub>3</sub> fluxmetingen) in ventilatiekokers **(M2)**
3. Interne tracergasratiomethode met kleine denuder (NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en canister (tracergas (SF<sub>6</sub>) concentratiemetingen) **(M3)**
4. Eenvoudig NH<sub>3</sub>-vangsysteem (natchemisch, Willems badges, denuders; NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) gecombineerd met meetventilatoren (debietmetingen) **(M4)**
5. Management model met emissie als output (gemaakt op basis van oude metingen) **(M5)**

### 5.2.2.1 Meetventilator en NO<sub>x</sub> monitor

Het huidige meetprotocol voor mechanisch geventileerde stallen voorziet in meting van de ventilatie door installatie van een meetventilator in één of meer ventilatiekanalen en meting van de ammoniakconcentratie in de stal (Bakker *et al.*, 2003; Beurskens *et al.*, 2002a, 2002b; Groenestein *et al.*, 2001; Hol en Groot Koerkamp, 1999; Hol *et al.*, 1999, 2001a, 2001b, 2001c; Monteny en Hol, 2001; Scheer *et al.*, 2001, 2002a, 2002b, 2003; Wever en Hol, 1999; Wever en Huis in 't Veld, 1999). In alle ventilatiekanalen worden meetventilatoren voor de stalventilatoren geïnstalleerd. Voor de ammoniak wordt een monsternemingsysteem in het ventilatiekanaal aangebracht. Dit aantal monsterpunten is doorgaans beperkt tot enkele kanalen. Het aantal plaatsen voor bemonstering wordt opgevoerd als het idee bestaat dat de representativiteit van een beperkt aantal kanalen te gering is. De ammoniak houdende lucht wordt via een zo kort mogelijke verwarmde slang naar een NH<sub>3</sub>-NO<sub>x</sub> converter geleid. Een NO<sub>x</sub> monitor trekt door sturing via een kleppenkast achtereenvolgens uit alle leidingen een monster voor analyse. Zowel de converter als de monitor vragen regelmatige ijking. De monitor dient ook regelmatig te worden onderhouden ter voorkoming van optische vervuiling. De meetmethode en apparatuur worden uitgebreid beschreven in Scholtens (1993), Bleijenberg en Ploegaert (1994) en Beoordelingsrichtlijn (1996).



Voordelen van de huidige meetmethode met meetventilator en NO<sub>x</sub> monitor zijn de geschiktheid voor langdurige automatische metingen en de beschikbaarheid van een continu signaal. De metingen zijn daarmee ook zeer geschikt voor proces studies. Nadeel zijn de benodigde tijd en kosten voor installatie van de apparatuur. Bij kortere meetperioden gaan deze kosten zwaar op het totaal drukken.

#### 5.2.2.2 Passieve fluxbuisjes in een ventilatiekanaal

Het gebruik van passieve flux samplers (PFS) in mechanisch geventileerde stallen is beschreven in Mosquera *et al.* (2002a), Mosquera (2003), Scholtens *et al.* (2003a, 2003b). Het gebruik van passieve samplers vergt een eenvoudige meetopzet. Omdat de fluxbuisjes zoals de naam al zegt een flux meten, dient de doorstromingsnelheid van de lucht en de concentratie in het buisje representatief te zijn voor het ventilatiekanaal (rekening houdend met de samplerconstante). Voor een goed functioneren van de flux buisjes is het essentieel, dat de stroming rond het buisje zo goed mogelijk in de lengterichting van het buisje is en obstakels geen additionele drukval over de lengte van het buisje veroorzaken. De stroming wordt sterk beïnvloed door de nabijheid van de stal ventilator. Om zijdelingse vectoren in de stroming ter hoogte van de buisjes te vermijden verdient het aanbeveling een honingraat als geleider tussen de fluxbuisjes en de ventilator aan te brengen. Om een representatief beeld van zowel stroomsnelheid als concentratie te verkrijgen worden een minimaal 2 buisjes in de kanaaldoorsnede geplaatst. Voor een protocol zou wellicht bij de procedure voor monsterneming in industriële schoorstenen kunnen worden aangesloten (NNI, 1995).

Oriënterende proeven met deze meetopzet zien er in een vergelijking met de referentie meetmethode veelbelovend uit (Mosquera *et al.*, 2002a). Voor brede inzet dient de methode op een aantal punten (nauwkeurigheid en instroomcondities) verder te worden ontwikkeld en geëvalueerd.

In contrast met de meetventilator-NO<sub>x</sub> methode vormen de fluxbuisjes (Scholtens *et al.*, 2003a, 2003b; Mosquera *et al.*, 2002a) juist een methode, die een minimum aan installatiekosten vergt, doch niet op voorhand geschikt is voor procesmetingen, omdat dan vaak van buisjes gewisseld moet worden. Voor kortdurende metingen (uren tot een dag) van de emissie is de methode echter zeer geschikt.

#### 5.2.2.3 Tracergasmethode met canister-denuder metingen

Bij de canister-denuder methode wordt de lucht door vacuüm getrokken canisters via een capillair aangezogen. Ammoniak kan niet in canisters worden gemonsterd door wandeffecten (opname van ammoniak in o.a. waterlaagjes op de wanden van de canister) en reactie met aërosolen, die de canister binnenkomen. De denuder dient dus voor de ammoniakmeting en de canister voor de meting van broeikasgassen en tracergas. In het ventilatiekanaal dienen de denuders direct de ingang van het monstersysteem te vormen om verliezen aan oppervlakken te voorkomen.

Het ophangen van denuderbuisjes in de doorsnede van de ventilatiekamer kan analoog aan de PFS buisjes plaatsvinden. De canisters (monstercilinders) worden zo dicht mogelijk achter de

denuders geplaatst en via metalen capillaire leidingen verbonden ter vermindering van wandeffecten en besmetting van het monster via diffusie door (uitwendig verontreinigde) leidingen. Voorkomen moet worden, dat de ophanging van de canisters rond het ventilatiekanaal zodanig is, dat de aanstroming richting ventilator en daarmee het debiet wordt beïnvloed. Een verlenging van de ventilatiekoker met 20 cm en bevestiging van de canisters op de buitenzijde van deze rand zou een optie kunnen zijn. Er zal speciale aandacht moeten zijn voor een protocol ter voorkoming van besmetting van de denuder met ammoniak. Doordat de denuder slechts ammoniak verzamelt uit een zeer klein luchtvolume heeft besmetting al gauw desastreuze gevolgen. De lucht kan vervolgens via capillaire leidingen en een kritisch capillair naar de canister worden gevoerd. Drukmeters op de canisters geven aan of de juiste meetomstandigheden (onderdruk tussen 0,01 Bar bij de start van de meting en maximaal 0,5 Bar absoluut, bij het einde van de meting) aanwezig zijn.

Door de canisters aan een rand op te hangen die onder de ingang van het ventilatiekanaal wordt geplaatst kunnen de leidingen kort worden gehouden. De methode vergt aanleg van een tracergas injectie systeem in de stal. De injectie dient plaats te vinden zo dicht mogelijk bij de plaats van emissie. Met de tracergas methode is voor natuurlijke stallen uitgebreide ervaring opgedaan. Dit onderdeel staat beschreven in Mosquera *et al.* (2003). Toepassing in mechanisch geventileerde stallen zal naar verwachting geen problemen opleveren.

De methode zal in verband met de gevoeligheid voor besmetting van monsters van een zeer zorgvuldig protocol moeten worden voorzien. De methode vergt duidelijk minder installatievoorzieningen dan de meetventilator-NO<sub>x</sub> methode, doch meer dan de fluxbuismethode. Met deze methode van meten is nog geen ervaring opgedaan.

#### 5.2.2.4 Meetventilator gecombineerd met passieve samplers of natchemische methoden

De meetventilator voor debietbepaling kan ook worden gecombineerd met bijvoorbeeld passieve samplers of natchemische methoden. De opstelling van passieve monsternemers kan geheel analoog aan de opstelling van de fluxbuisjes plaatsvinden. Ook hier is geleiding van de luchtstroom nodig. In dit geval om een stroming parallel aan het ingangfilter van de badge of het buisje te krijgen en de (onzekere) externe weerstand van een stagnerende luchtlaag voor de sampler te vermijden (Hofschreuder *et al.*, 1999). De samplers worden dus parallel aan de lengterichting van het kanaal opgehangen. In plaats van passieve metingen kunnen ook natchemische metingen met de meetventilator worden gecombineerd. Hierbij valt te denken aan het gebruik van denuders of van gaswasflessen.

De voordelen van het gebruik van passieve monsternemers zijn, dat minder installatiewerk nodig is dan voor de actieve monsternemers. Nadeel is het discontinue karakter van de meting, waardoor alleen gemiddelde worden verkregen en de metingen minder geschikt zijn voor processtudies. Nadelen van actieve systemen ten opzichte van de passieve monstermethode zijn de noodzaak tot installatie van pompen, capillairen en leidingen. Het voordeel van gebruik van gaswasflessen en denuders ten opzichte van de huidige converter-NO<sub>x</sub> methode of opto-

acoustische methode is gering. De kosten zijn geringer, maar het installatiewerk vergt vrijwel evenveel. De passieve samplers kunnen er gunstig uit springen, doch leveren geen voordelen op ten opzichte van canister-denuder metingen en PFS metingen. Om deze redenen worden deze methoden niet verder uitgewerkt.

#### 5.2.2.5 Emissie schatting op basis van een management model

De grote hoeveelheid beschikbare gegevens voor mechanisch geventileerde stallen en het verkregen inzicht in management invloeden op het niveau van de emissies maken het voor dit type stal mogelijk de emissie via een deskstudie te schatten. Aanname is, dat de emissie van ammoniak voornamelijk wordt bepaald door emissie uit urine en emissie van onder de roostervloer (Monteny *et al.*, 2002). Op basis van de samenstelling van het voer, diergewicht en aantal dieren in een stal worden de hoeveelheid uitgescheiden urine en het stikstof gehalte daarin geschat. Op basis van stalgeometrie en urine frequentie wordt het met urine bevuild oppervlak geschat en wordt de omzetting van ureum naar ammonium berekend. Temperatuur en luchtsnelheid in de stal en pH van de urineplek bepalen de hoeveelheid ammoniak, die uit de urineplek verfluchtigt. Voor de mest onder de vloer wordt empirisch de omzetting van organisch stikstof naar anorganisch stikstof bepaald. De ammoniakverliezen uit de mestkelder worden vervolgens berekend uit pH, temperatuur van de mest, afmetingen van de kelder en geschatte luchtsnelheid boven de mest in de kelder. De som van de emissies uit urine en uit de mestkelder geeft een schatting van de ammoniakemissie uit de stal.

Voordelen van het gebruik van modellen zijn de geringe kosten en het snelle resultaat. Nadelen zijn het gebruik van een aantal empirische verbanden, waardoor de modellen slechts gebruikt kunnen worden om een indicatie te geven over de emissies van nieuwe typen stallen. Voor berekening van emissies van regio's kan de methode zeer aantrekkelijk zijn, voor de schatting van individuele stallen kan de fout vrij groot zijn. Omdat in de vraagstelling is uitgegaan van de bepaling van emissiefactoren zal de management model methode voor stallen met mechanische ventilatie niet nader worden uitgewerkt.

### 5.2.3 Meetstrategie

Op basis van de paragrafen 4.4 en 5.2.2 en bijlage 1 is gekozen voor de onderstaande combinatie van meetmethoden en meetstrategieën.

#### Gekozen meetmethoden:

1. NO<sub>x</sub> monitor (NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en meetventilatoren (debietmetingen) **(M1)**
2. Fluxbuisjes (PFS; NH<sub>3</sub> fluxmetingen) **(M2)**
3. Interne tracergasratiomethode met kleine denuder (NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en canister (tracergas (SF<sub>6</sub>) concentratiemetingen) **(M3)**

#### Gekozen meetstrategieën (protocollen):

Er is gekozen voor de gebruikelijke methode van twee maal zes maanden continu meten en het meten van één maal per maand(24h) (op basis van inzichten in representativiteit en

autocorrelatie). Er wordt onderscheid gemaakt in meting bij slechts één stal en drie stallen (meer representatief voor een systeem) zonder reductie van het aantal metingen per stal.

Protocol	Meetperiode	Meetduur	Aantal locaties
1 (P1)		2x6 maanden, continu	1
2 (P2)		2x6 maanden, continu	3
3 (P3)	Gekozen meetperiodes in 1 jaar	1 dag per maand	1
4 (P4)	Gekozen meetperiodes in 1 jaar	1 dag per maand	3

## 5.2.4 Beoordeling meetstrategieën

*Randvoorwaarden:* In tabel 5.1 zijn 4 randvoorwaarden genoemd waaraan moet worden voldaan. De score van de 12 meetstrategieën die in deze case zijn gekozen ( $M \times P = 3 \times 4$ ) op deze randvoorwaarden wordt eerst behandeld (zie tabel 5.2). Voor de score op randvoorwaarden is de volgende eenvoudige klassering gekozen ter vermindering van een uitgebreide tekst.

*	slecht
**	matig
***	redelijk
****	goed
*****	uitstekend

**Tabel 5.2** Score van de gekozen 12 meetstrategieën (protocollen P1 t/m P4 en meetmethoden M1 t/m M3) voor case 1 (vleeskalveren stal) op de randvoorwaarden zoals omschreven in tabel 5.1

	Inpasbaarheid	Hoeveelheid informatie	Kwetsbaarheid fraude	Grenzen meetmethode	Totaal score <sup>1)</sup>
P1_M1	**	*****	*****	*****	17
P1_M2	****	***	**	****	13
P1_M3	**	***	**	*** 2)	10
P2_M1	*	*****	*****	*****	16
P2_M2	****	****	**	****	14
P2_M3	**	****	**	*** 2)	11
P3_M1	**	***	***	*****	13
P3_M2	*****	**	*	****	13
P3_M3	***	***	**	*** 2)	11
P4_M1	*	****	***	*****	13
P4_M2	*****	****	*	****	14
P4_M3	***	****	**	*** 2)	12

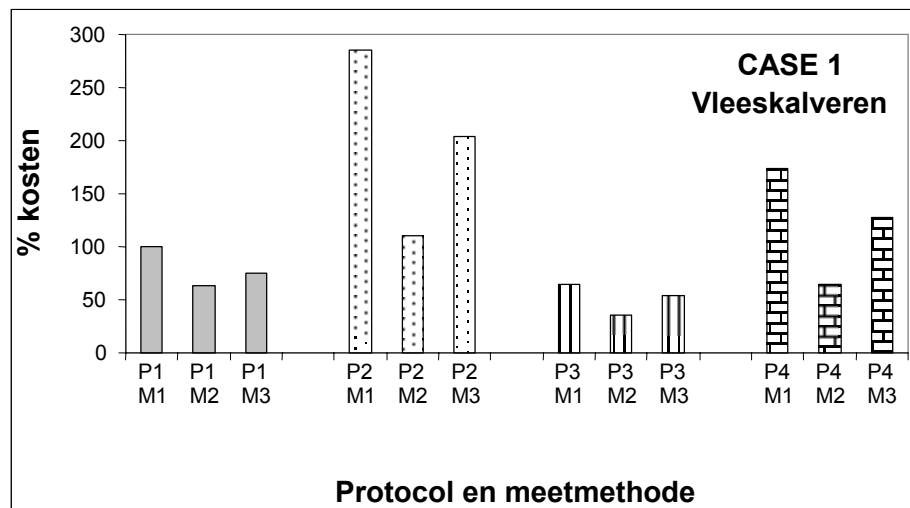
<sup>1)</sup> Veel sterren betekent een goede score op veel randvoorwaarden.

<sup>2)</sup> Dit geldt voor ammoniak, waarbij de beperkte hoeveelheid lucht, die door de mini-denuder stroomt beperkingen oplegt.

Uit tabel 5.2 blijkt, dat op basis van randvoorwaarden de gebruikelijke combinatie van converter-NO<sub>x</sub> monitor voor continue metingen aan één stal het hoogst scoort. Bij metingen aan meer

stallen worden de verschillen met andere methoden al geringer en bij jaarrond metingen aan meer stallen zijn de randvoorwaarden voor alternatieve metingen gunstiger. Met name de inpasbaarheid van de metingen en de gevoeligheid voor fraude gedragen zich complementair. Naast de randvoorwaarden speelt de combinatie van nauwkeurigheid en kosten en grote rol in de keuze van een protocol.

De relatieve kosten voor de verschillende meetprotocollen zijn in figuur 5.1 weergegeven.



**Figuur 5.1** Schatting van de kosten van de gekozen protocollen en meetmethoden relatief tot de huidige meetmethode voor case 1: vleeskalveren stal met mechanische ventilatie. *P* staat voor protocol, en *M* voor meetmethode, zoals eerder beschreven

De globale inschatting van de kosten werd als volgt cijfermatig ingevuld. Aan de hand van een begroting voor een mechanisch geventileerde stal die gemeten wordt volgen het 'groen label protocol' zijn de tijdsbegrotingen voor de overige meetstrategieën gemaakt. In figuur 5.1 zijn de kosten van de 12 meetstrategieën afgebeeld in verhouding tot de huidige meetmethode (100%). De verschillen tussen de meting aan één stal en drie stallen zijn geen factor drie ondanks verdriedubbeling van het aantal metingen. Reductie in kosten wordt veroorzaakt door het schrijven één rapport, geringere reiskosten bij meer bezoeken op één dag of afwezigheid van reiskosten als de boer zelf fluxbuisjes verwisseld, minder instrumenten als metingen niet gelijktijdig hoeven plaats te vinden etc. Als rekening wordt gehouden met een afname van de variantie door meer analyses en tevens een afname van de variantie binnen de stal door meer meetresultaten zou bij gelijkblijvende nauwkeurigheid het aantal metingen voor meer stallen kunnen worden gereduceerd en de kosten voor metingen in meer stallen nog iets geringer worden. Uit de figuur blijkt dat bij een toename van het aantal meetlocaties de kosten minimaal verdubbelen. Het veranderen van meetcyclus (lange aaneengesloten periode naar jaarrond 1 dag per maand) vermindert de kosten.

De meetstrategie met de geringste kosten is P3-M2. Dit staat voor het hele jaar meten op één lokatie, waarbij jaarrond één dag per maand wordt gemeten. De meetmethode is het gebruik van PFS (fluxbuisjes) in de kokers. Qua randvoorwaarden staat deze combinatie binnen protocol P3

op een gedeelte eerste plaats met de traditionele converter-NO<sub>x</sub> monitor methode. Bij jaarrondmetingen op meer lokaties wordt de PFS methode naar verhouding nog voordeliger en is er ook het best voldaan aan de randvoorwaarden. Voor traditionele 6 maands metingen aan één of meer stallen is de methode ook het goedkoopst, doch bij de score op randvoorwaarden moet de methode de converter-NO<sub>x</sub> monitor methode vooral ten aanzien van fraude ongevoeligheid voor laten gaan. De denuder canister methode scoort qua kosten over de hele linie minder dan de PFS buis methode doch beter dan de converter-NO<sub>x</sub> monitor methode. De methode voldoet minder goed aan de randvoorwaarden dan de andere twee methoden door de grenzen aan het gebruik voor ammoniakmetingen. Zouden de broeikasgasmetingen bij het geheel betrekken zijn, dan wordt de situatie ingrijpend anders. Op de meest veelbelovende methode wordt kort nader ingegaan.

De PFS-buisjes zijn zeer geschikt om door een boer zelf te verwisselen en met behulp van een ophaalronde (waarbij wisselend één meetlocatie daadwerkelijk wordt bezocht) worden de buisjes verzameld. De verkregen hoeveelheid informatie is goed aangezien meerdere locaties met elkaar kunnen worden vergeleken. Doordat meerdere locaties worden gemeten neemt de nauwkeurigheid van het cijfer toe. De kwetsbaarheid voor fraude is slecht, aangezien dit protocol voorziet in het wisselen van buisjes door de boer zelf en bovendien slechts één dag wordt gemeten kan eenvoudig worden gefraudeerd. In de praktijk blijkt echter dat veel mensen onvoldoende kennis hebben om te weten hoe het cijfer wordt beïnvloed door de fraude (ofwel beïnvloeding van de emissie betekent niet altijd een verlaging van de emissie). Er kan worden overwogen om duplometingen te introduceren. Representatief frauderen zal niet gemakkelijk zijn.

## **5.3 Uitwerking van de case melkvee met natuurlijke ventilatie**

### **5.3.1 Dynamiek van emissie van gasen voor een natuurlijk geventileerde melkveestal**

Bij melkvee schrijft het huidig meetprotocol een meetperiode tussen 1 december tot 1 april voor. Melkvee valt onder de categorie van continue emissie. De massa van de dieren verandert nauwelijks. Wel is sprake van een dagelijks emissiepatroon (Kroodsma *et al.*, 1993) wat ontstaat door het gedrag van de dieren en de vaste managementactiviteiten (beweidingschema etc.). Met name het melken beïnvloed de emissie (Groenestein en Montsma, 1991; Groenestein en Reitsma, 1993; Huis in 't Veld en Groot Koerkamp, 2001). De huisvesting binnen de melkveesector is gezien vanuit de emissiemeetomstandigheden heterogeen. De meeste dieren worden in een ligboxenstal gehuisvest maar de stalconstructie, -inrichting het rantsoen, maar vooral de ventilatie is zeer verschillend. De lucht in- en uitlaat kunnen in vorm, grootte en positie sterk variëren. Het rantsoen van melkvee bestaat uit krachtvoer en ruwvoer. Ruwvoer wordt meestal onbeperkt verstrekt maar bestaat per bedrijf uit zeer verschillende samenstellingen (bijvoorbeeld combinaties met verschillend ruwvoer zoals kuilgras en mais maar ook combinaties met voorjaarskuilgras en zomerkuilgras). Het voer van de dieren zal voor een groot deel het emissieniveau uit de stal beïnvloeden (N-uitscheiding). Daarnaast zal de stalconstructie het emissieniveau bepalen en tenslotte de stalinrichting (type roostervloer, mestschuif).

### 5.3.2 Beschikbare meetmethoden

Metingen aan stallen met natuurlijke ventilatie worden tot op heden uitgevoerd volgens een vast protocol. Aannamen zijn daarbij dat de ratio van emissie en concentratie van een tracergas (in dit geval SF<sub>6</sub>) en de ratio van emissie en concentratie van het te onderzoeken gas (in dit geval NH<sub>3</sub>) gelijk is.

$$Q_i = \frac{C_i}{C_{tracer}} \cdot Q_{tracer}$$

Diverse mogelijke combinaties van meetmethoden zullen kort worden besproken. Slechts de meest veelbelovende zullen qua meetstrategie en kostentechnisch worden uitgewerkt:

1. Interne tracergasratiomethode met NO<sub>x</sub>-monitor (NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en gaschromatograaf (tracergas (SF<sub>6</sub>) concentratiemetingen) (M1)
2. Interne tracergasratiomethode met kleine denuder (NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en canister (tracergas (SF<sub>6</sub>) concentratiemetingen) (M2)
3. Interne tracergasratiomethode met eenvoudig NH<sub>3</sub>-vangsysteem (natchemisch, Willems badges, denuders; NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en canister (tracergas (SF<sub>6</sub>) concentratiemetingen) (M3)
4. Management model met emissie als uitvoer (gemaakt op basis van bestaande metingen) (M4)

#### 5.3.2.1 Tracergasmethode met NO<sub>x</sub> monitor en gaschromatograaf

Het huidige meetprotocol voor natuurlijk geventileerde stallen voorziet in de injectie en meting van tracergas voor de ratio tussen emissie en concentratie en de meting van de ammoniakconcentratie in de stal (Huis in 't Veld en Monteny, 2003; Huis in 't Veld en Groot Koerkamp, 2001; Huis in 't Veld *et al.*, 2001, 2002; Monteny *et al.*, 2002). De injectie van tracergas dient plaats te vinden zo dicht mogelijk bij de plaats van emissie (meestal bij de roostervloer aan de randen van de ligboxen). De injectie wordt gecontroleerd uitgevoerd door thermische Mass Flow Controllers. Om een representatief luchtmonster uit de stal krijgen wordt op een verzamelleiding opgehangen op een plek waarvan zeker is dat de lucht goed gemengd is (meestal in de nok van de stal). De stallucht wordt via een verwarmde verzamelleiding naar de meetapparatuur geleid en gesplitst in een deel voor ammoniak-concentratie metingen en een deel voor broeikasgas en tracergas metingen. Deze lucht wordt door een NH<sub>3</sub>-NO<sub>x</sub> converter geleid, waarna de NO<sub>x</sub> monitor een monster trekt voor analyse. Zowel de converter als de monitor vragen regelmatige ijking. De monitor dient ook regelmatig te worden onderhouden ter voorkoming van optische vervuiling. De deelstroom voor de SF<sub>6</sub>-concentratiemetingen wordt naar de gaschromatograaf (GC) gevoerd en geanalyseerd. De GC vraagt regelmatig ijking. In de huidige opzet blijkt de communicatie tussen GC software en software van het meetprogramma zeer storingsgevoelig te zijn. De meetmethode en apparatuur worden uitgebreid beschreven in Mosquera *et al.* (2002b, 2003).

Voordelen van de huidige meetmethode met tracergas en NO<sub>x</sub> monitor zijn de geschiktheid voor langdurige automatische metingen en de beschikbaarheid van een continu signaal. De metingen zijn daarmee ook zeer geschikt voor proces studies. Nadeel zijn de benodigde tijd en kosten voor

installatie van de apparatuur. Bovendien blijkt deze meetmethode onderhoudsgevoelig (GC). Bij kortere meetperioden gaan deze kosten zwaar op het totaal drukken.

### 5.3.2.2 Tracergasmethode met canister-denuder metingen

De canister-denuder methode wordt beschreven in paragraaf 5.2.2.3. Om een representatief luchtmonster uit de stal krijgen wordt op een verzamelleiding opgehangen op een plek waarvan zeker is dat de lucht goed gemengd is (meestal in de nok van de stal). De stallucht wordt via een verwamde verzamelleiding naar de denuders geleid. De canisters worden zo dicht mogelijk achter de denuders geplaatst en via metalen capillaire leidingen verbonden ter vermindering van wandeffecten en besmetting via diffusie door (uitwendig verontreinigde) leidingen. Er zal speciale aandacht moeten zijn voor een protocol ter voorkoming van besmetting van de denuder. Doordat de denuder slechts ammoniak verzameld uit een zeer klein luchtvolume heeft besmetting al gauw desastreuze gevolgen. De lucht kan vervolgens via capillaire leidingen en een kritisch capillair naar de canister worden gevoerd. De methode vergt aanleg van een tracergas injectie systeem in de stal. De injectie dient plaats te vinden zo dicht mogelijk bij de plaats van emissie. Met de tracergas methode is voor natuurlijke stallen uitgebreide ervaring opgedaan. Dit onderdeel staat uitgebreid beschreven in Mosquera *et al.* (2003).

De methode zal in verband met de gevoeligheid voor besmetting van monsters van een zeer zorgvuldig protocol moeten worden voorzien. Met deze methode van meten is nog geen ervaring opgedaan.

### 5.3.2.3 Tracergas gecombineerd met canister en passieve samplers of natchemische methoden

De interne tracergasratiomethode kan ook worden gecombineerd met bijvoorbeeld passieve samplers of natchemische methoden. In de canister wordt de tracergas concentratie eventueel tezamen met broeikasgassen bemonsterd. Hiervoor wordt de stallucht via een verzamelleiding en een pomp uit de stal naar de bemonsteringsapparatuur gebracht. De ammoniakconcentratie wordt via natchemische monsterneming of via denuders bemonsterd uit de verzamelleiding. De passieve monsternemers worden in de stal aan de verzamelleiding opgehangen.

De voordelen van het gebruik van passieve monsternemers, natchemische monsternemers en denuders gecombineerd met canisters zijn, dat minder installatiewerk nodig is dan voor de tracergas met NO<sub>x</sub> converter methode. Nadeel is het discontinue karakter van de meting, waardoor alleen gemiddelde worden verkregen en de metingen minder geschikt zijn voor processtudies. Deze methoden leveren qua kosten geen voordelen op ten opzichte van canister-denuder metingen. Om deze redenen wordt slechts de canister-denuder meting als voorbeeld van de groep van passieve-, semi-actieve- en natchemische methoden nader uitgewerkt.

### 5.3.2.4 Management model voor emissieschatting

Evenals voor de mechanisch geventileerde varkensstallen is het voor de natuurlijk geventileerde runderstallen mogelijk emissies te schatten op basis van een management model. De



noodzakelijke aannamen zijn in principe gelijk aan die van een varkensstal (zie paragraaf 5.2.2.5) met verschillen in kengetallen. Deze modellering wordt uitgebreid behandeld in Monteny, (2000). Voordelen van het gebruik van modellen zijn de geringe kosten en het snelle resultaat. Nadelen zijn het gebruik van een aantal empirische verbanden, waardoor de modellen slechts gebruikt kunnen worden om een indicatie te geven over de emissies van nieuwe typen stallen. Omdat de nadruk in dit rapport ligt op de bepaling van emissiefactoren op basis van metingen zal de rekenkundige benadering via een management model niet nader worden uitgewerkt.

### 5.3.3 Meetstrategie

Op basis van de paragrafen 4.4 en 5.3.2 en bijlage 1 is gekozen voor de onderstaande combinatie van meetmethoden en meetstrategieën.

#### Gekozen meetmethoden:

1. Interne tracergasratiomethode met NO<sub>x</sub> monitor (NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en gaschromatograaf (tracergas (SF<sub>6</sub>) concentratiemetingen) (M1)
2. Interne tracergasratiomethode met kleine denuder (NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en canister (tracergas (SF<sub>6</sub>) concentratiemetingen) (M2)

#### Gekozen meetstrategieën (protocollen):

Voor de meetstrategieën is gekozen voor de gebruikelijke methode van continu meten van december tot april en het meten van één maal per maand (op basis van inzichten in representativiteit en autocorrelatie). Op dezelfde gronden voor de vleeskalveren is ook onderscheid gemaakt in meting bij slechts één stal en drie stallen (meer representatief voor een systeem).

Protocol	Meetperiode	Meetduur	Aantal locaties
1	1 december tot 1 april	Continu	1
2	1 december tot 1 april	Continu	3
3	Gekozen meetperiodes in 1 jaar	1 dag per maand	1
4	Gekozen meetperiodes in 1 jaar	1 dag per maand	3

### 5.3.4 Beoordeling meetstrategieën

*Randvoorwaarden:* In tabel 5.1 zijn 4 randvoorwaarden genoemd waaraan moet worden voldaan. De score van de 8 meetstrategieën die in deze case zijn gekozen (M\*P)=(2\*4) op deze randvoorwaarden wordt eerst behandeld (zie tabel 5.3). Voor de score op randvoorwaarden is de eerder genoemde eenvoudige klassering gekozen ter vermindering van een uitgebreide tekst.

*	slecht
**	matig
***	redelijk
****	goed
*****	uitstekend

**Tabel 5.3** Score van de gekozen 8 meetstrategiën (protocollen P1 t/m P4 en meetmethoden M1 en M2) voor case 2, een vleeskalveren stal, op de randvoorwaarden inpasbaarheid, informatie, fraudegevoeligheid en beperkingen van de meetmethode

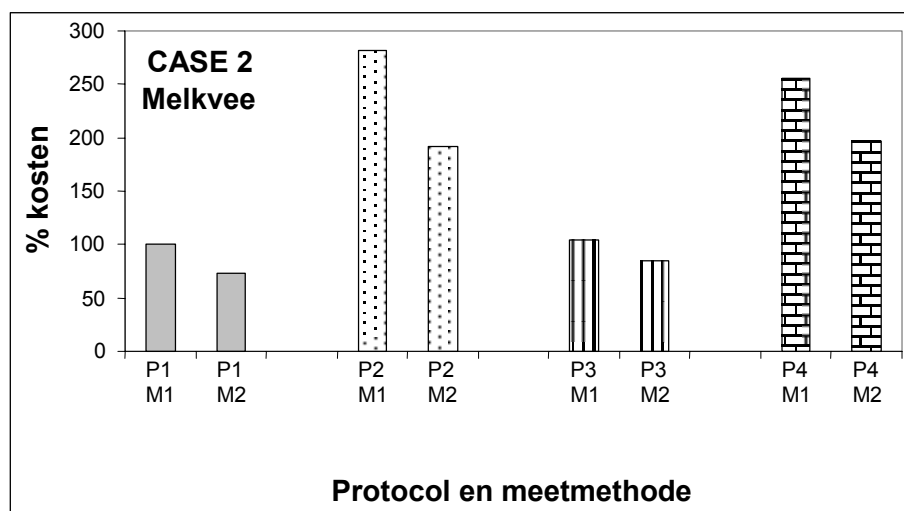
	Inpasbaarheid	Hoeveelheid informatie	Kwetsbaarheid fraude	Grenzen meetmethode	Totaal score <sup>1)</sup>
P1_MM1	**	*****	*****	*****	17
P1_MM2	**	***	**	*** 2)	10
P2_MM1	*	*****	*****	*****	16
P2_MM2	**	****	**	*** 2)	11
P3_MM1	**	***	***	*****	13
P3_MM2	**	***	**	*** 2)	10
P4_MM1	*	****	***	*****	13
P4_MM2	***	****	**	*** 2)	12

<sup>1)</sup> Veel sterren betekent een goede score op veel randvoorwaarden.

<sup>2)</sup> Dit geldt voor ammoniak, waarbij de beperkte hoeveelheid lucht, die door de mini-denuder stroomt, beperkingen oplegt.

Uit tabel 5.3 blijkt, dat op basis van randvoorwaarden de gebruikelijke combinatie van converter-NO<sub>x</sub> monitor voor continue metingen en GC voor de tracergasmetingen over de hele linie het hoogst scoort. Bij metingen aan meer stallen worden de verschillen met de denuder-canister methode geringer en bij jaarrond metingen aan meer stallen zijn de randvoorwaarden voor deze methoden vrijwel gelijk. Ook hier gedragen de inpasbaarheid van de metingen en de gevoeligheid voor fraude zich complementair. Bij de beschouwing van broeikasgasmetingen in plaats van (of naast) ammoniakmetingen zou de denuder-canister meting gunstiger uit de bus komen. Naast de randvoorwaarden speelt de combinatie van nauwkeurigheid en kosten een grote rol in de keuze van een protocol.

De relatieve kosten voor de verschillende meetprotocollen zijn in figuur 5.2 weergegeven. Uit figuur 5.2 blijkt, dat de kosten van de denuder-canister methode lager uitvallen dan voor de traditionele converter-NO<sub>x</sub> monitor plus GC tracer methode. Het verschil wordt groter, naarmate op meer plaatsen moet worden gemeten. Een verschil ten opzichte van de conclusies voor Case 1 is, dat de niet continue methode betrekkelijk weinig voordelen biedt (lagere kosten, maar minder goed voldoen aan de randvoorwaarden), behalve bij gelijktijdige meting van ammoniak en broeikasgassen. Dit komt mede door het plannen van het ophalen van de monsters door geschoold personeel in plaats van wisseling door de boer. Dit is noodzakelijk omdat de injectie moet worden gecontroleerd en gekalibreerd. Ook is de meetapparatuur ingewikkelder. Referentie is een begroting voor een natuurlijk geventileerde stal die gemeten wordt volgens het 'groen label protocol' (100%). Voor natuurlijk geventileerde stallen voldoet het huidige protocol goed, tenzij frequent met intervallen op veel plaatsen moet worden gemeten (n>3).



**Figuur 5.2** Schatting van de kosten van de gekozen protocollen en meetmethoden relatief tot de huidige meetmethode voor case 2: melkvee stal met natuurlijke ventilatie. *P* staat voor protocol, en *M* voor meetmethode, zoals eerder aangegeven

## 5.4 Open leghennen stal met uitloop

### 5.4.1 Dynamiek van emissie van gassen voor open stallen met uitloop

Bij leghennen schrijft het huidig meetprotocol een meetperiode van 2 maanden, liggend tussen 1 juni, en 1 september en een tweede meetperiode van 2 maanden, liggend tussen 1 oktober en 1 januari, voor. Leghennen vallen onder de categorie van continue emissie. De massa van de dieren verandert nauwelijks. Wel is sprake van een dagelijks emissiepatroon wat ontstaat door het gedrag van de dieren en de vaste managementactiviteiten. De inrichting van een leghennenstal met een uitloop bestaat vaak uit een mechanisch geventileerde stal (vaak lengteventilatie, natuurlijke ventilatie komt ook voor) waarin alleen grondhuisvesting (scharrelstal) of volièrehuisvesting plaats vindt. Bij een scharrelstal blijft alle mest en strooisel gedurende de gehele legperiode in de stal (een legperiode duurt ruim 1 jaar). Bij een volièrestal kunnen de dieren vrij bewegen over het grondoppervlak en in de hoogte van een stal. In dit type stal wordt de mest onder de roostervloeren opgevangen op mestbanden en regelmatig uit de stal verwijderd (tweemaal per week). Het strooisel dat zich op het vloeroppervlak bevindt blijft de gehele legperiode in de stal. Kippen die eieren leggen hebben over het algemeen een strak dag en nachtritme. 's nachts zijn de activiteiten nihil (ze zitten op stok). Wanneer het licht wordt of het licht aan gaat start direct de activiteit in de vorm van eten, scharrelen en ei leggen. Bedrijven met een uitloop maken de luiken (vaak kleine openingen aan de lengtezijde van de stal) in de loop van de dag open (vanaf ca. 9:00). 's avonds worden de luiken weer gesloten. Alle dieren gaan vrijwillig bij het invallen van de schemering naar binnen. Gedurende de dag bevinden zich een beperkt aantal dieren in de stal (om te eten of een ei te leggen). De voorgeschreven meetperiodes in de zomer en de herfst hebben betrekking op de verwachte maximale emissie gedurende deze periodes. In de zomer zal de emissie waarschijnlijk worden verhoogd door de hoge temperatuur en het hoge ventilatiedebiet. In de herfstperiode wordt een verhoogde emissie verwacht door broei van het

strooisel (dit vind bij vochtige omstandigheden plaats) en door slechte droging van de mest op de mestbanden bij vochtige herfstlucht.

De emissie-omstandigheden in de uitloop zal worden beïnvloed door de meteorologische omstandigheden (regen, harde wind en temperatuur). Metingen dienen derhalve minimaal een dagcyclus te omvatten. Onderscheid binnen de dagcyclus is in principe niet nodig, aangezien een emissiefactor moet worden bepaald en geen procesonderzoek gedaan moet worden.

## 5.4.2 Beschikbare meetprincipes

Op dit moment zijn geen metingen uitgevoerd aan stalsystemen met een uitloop. Recent zijn metingen gestart in een bijzondere stal van het PV in Leliestad, waar sprake is van een mechanisch geventileerde stal met binnenuitloop en buitenuitloop. Ervaringen met dit complexe systeem kunnen worden gebruikt voor de ontwikkeling van meetstrategieën voor situaties met een eenvoudiger geometrie. Als meetprincipe kan gebruik worden gemaakt van combinatie van methodes die gebruikt worden voor het meten van oppervlaktebronnen en voor het meten van stalemissies. Op deze wijze is het mogelijk om stal en uitloop apart van elkaar te meten. Meetventilator of tracerratio methode voor de stal gecombineerd met één van de methoden voor NH<sub>3</sub> meting en snelle box methode voor de uitloop. Voor de uitloop zijn micrometeorologische technieken niet toepasbaar in verband met de nabijheid van obstakels en het feit, dat de mestbelasting niet uniform over het oppervlak verdeeld zal zijn. Een tweede mogelijkheid is het bemeten van stal en uitloop als geheel, bijvoorbeeld via de massabalans methode. We krijgen dan één emissiegetal voor stal en uitloop. De massabalansmethode is aantrekkelijk voor open stalsystemen (problemen met de traditionele tracer methode) gecombineerd met uitloop. Omdat bij gebruik van de massabalans methode buiten de stal moet worden gemeten brengt dit belangrijke beperkingen met zich mee in de stalkeuze. Wervelingen veroorzaakt door andere gebouwen en/of bomen kunnen het meten onmogelijk maken. Daarnaast zal het meten in de buitenlucht de concentraties sterk verdunnen door het snel verspreiden/verdunnen van de uitstoot. De leghennen stal zal worden benaderd als een combinatie van een mechanisch geventileerde stal met uitloop, waarbij stal en uitloop apart worden bemeten.

Diverse mogelijke combinaties van meetmethoden zullen voor stal en uitloop apart kort worden besproken. Slechts de meest veelbelovende zullen qua meetstrategie en qua kosten worden uitgewerkt.

### Metingen aan de stal:

1. NO<sub>x</sub> –monitor (NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en meetventilatoren (debietmetingen) (M1)
2. Passieve fluxbuisjes (PFS; NH<sub>3</sub> fluxmetingen) in ventilatiekokers (M2)
3. Interne tracergasrationmethode met kleine denuder (NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en canister (tracergas (SF<sub>6</sub>) concentratiemetingen) (M3)
4. Eenvoudig NH<sub>3</sub>-vangsysteem (natchemisch, Willems badges, denuders; NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) gecombineerd met meetventilatoren (debietmetingen) (M4)

Voor de beschrijving van deze meetmethoden wordt verwezen naar paragraaf 5.2.2.1 t/m 5.2.2.4. Omdat in deze voorbeelden alleen naar de emissie van ammoniak wordt gekeken is de methode

van de passieve fluxbuisjes het meest veelbelovend (M2). Wanneer ook naar broeikasgasemissies wordt gekeken is de canister-denudermeting interessant (M3). Gezien de situatie van recente ontwikkeling van dit stalsysteem en de behoefte aan inzicht in de processen en hun emissies in de stal is het gebruik van de gebruikelijke converter-NO<sub>x</sub> monitor methode verdedigbaar (M1). De PFS methode, denudercanistermethode en de converter-NO<sub>x</sub> monitor methode zullen in het kosten overzicht worden uitgewerkt.

#### Metingen aan de uitloop:

Eerder werd aangegeven, dat als gevolg van obstakelstromingen geen micrometeorologische technieken op de uitloop kunnen worden toegepast. De nabijheid van de stal als bron voor verstoring van de stroming en als bron van emissies zorgt ervoor, dat ook pluimmetingen niet mogelijk zijn en fluxraam metingen van beperkte waarde zijn. Het fluxraam meet immers de emissie van stal plus uitloop, waarbij de stal reeds onafhankelijk werd gemeten en de emissie van de uitloop als verschil tussen massabalans en stalemissie de fout van twee emissiemetingen in zich draagt. Daarbij is de emissie van de uitloop naar verwachting ook nog aanzienlijk kleiner dan van de stal, zodat de relatieve fout in de schatting van de emissie van de uitloop erg groot wordt. Emissie bepaling van de uitloop via de **snelle box methode** (M5) lijkt in dit geval het meest veelbelovend, waarbij dient te worden bedacht, dat door inhomogeen mestgedrag veel metingen dienen te worden verricht. De snelle box methode heeft hier het voordeel, dat de energie- en vochtbalans van het oppervlak door korte meetduur weinig wordt beïnvloed en tegelijkertijd in korte tijd veel metingen kunnen worden verricht. Als meetmethode voor de uitloop wordt alleen de snelle boxmethode verder uitgewerkt.

Voor de volledigheid worden hier ook de fluxraam- en pluimmetingen (stal plus uitloop gezamenlijk) kort behandeld, temeer daar deze metingen ook de enige aanpak vormen voor de zeer open stalsystemen, die met deze drie cases buiten beschouwing zijn gebleven. Deze metingen zullen niet kosten technisch worden uitgewerkt.

Mogelijkheden voor metingen aan het hele complex (stal plus uitloop).

1. Snelle boxmethode (tunnelmethode) gecombineerd met stalmetingen (M5+M1 of M2)
2. Fluxraam met fluxbuisjes (NH<sub>3</sub> fluxmetingen) (M6)
3. Fluxraam met denuders of passieve samplers (NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en anemometers (debietmeting) (M7)
4. Pluimtransectmeting met TDLAS(NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en pluimmodel (M8)

#### 5.4.2.1 Metingen aan de uitloop met de snelle box methode

Een snelle box bestaat uit een inert omhulsel dat op de grond wordt geplaatst. De lucht in de box wordt via een ringleiding gecirculeerd en op deze wijze ook gemengd. In de box wordt via een mass-flow controller een tracergas met constante massa per tijdseenheid geïnjecteerd. De verhouding tussen de stijging van de concentratie van het tracergas en de stijging van de concentratie van het gas waarvan we de emissie willen weten kan als maat gebruikt worden om de emissie te schatten volgens:

$$F_{d,i} = \frac{dC_i}{dC_{tracer}} \cdot F_{d,tracer}$$

Hierin is F de fluxdichtheid in  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  en C de concentratie in  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Voordeel van deze methode is, dat de box niet perfect lekdicht hoeft af te sluiten, omdat ervan mag worden uitgegaan dat verliezen van het te bemeten gas en de tracer gas concentratie in gelijke mate beïnvloeden.

Omdat de tracer wordt geïnjecteerd en niet uit of van de grond komt:

$$F_{d,tracer} = \frac{Q_{tracer}}{l \cdot b}$$

$$F_{d,i} = \frac{dC_i}{dC_{tracer}} \cdot \frac{Q_{tracer}}{l \cdot b}$$

Hierin is l de lengte (m) en b de breedte (m) van de box.

De snelle box methode wordt bij voorkeur uitgevoerd met snelle meetmethoden voor het betreffende gas en de tracer. Voor methaan, CO<sub>2</sub> en lachgas kan dat een TDLAS zijn gekoppeld aan een Whitecel (multipass absorptiecel). Voor ammoniak bestaat weliswaar een snelle Amanda, doch die meet slechts relatieve waarden en is voor deze combinatie minder geschikt. Als tracer kan het best één van de genoemde gassen worden gebruikt, mits de emissie van de bodem verwaarloosbaar is voor dat gas (we moeten immers een bekende bronsterkte hebben). Is dat niet mogelijk, dan moeten we teruggrijpen op langzamer integrerende technieken als canisters voor broeikasgassen en SF<sub>6</sub> en off line meting met de GC. Voor ammoniak kunnen denudermetingen uitkomst bieden. Nadeel van de integrerende technieken is, dat we het resultaat niet direct zien en ook de stijging van concentraties niet visueel kunnen volgen, waardoor directe kwaliteitscontrole niet mogelijk is. Sneller inzicht in de uitkomsten kunnen detectiebuisjes bieden, doch de vraag is, of deze voldoende lage detectiegrens en voldoende nauwkeurigheid hebben.

#### 5.4.2.2 Fluxraam (Massabalansmethode) met fluxbuisjes

De fluxraammethode is gebaseerd op integratie van het product van concentratie en windsnelheid min of meer loodrecht op de heersende windrichting en in de hoogte. De concentratieverhoging tengevolge van oppervlakte emissies dient zowel zijdelings als in de hoogte naar nul te gaan voor de buitenste meetpunten. Door zowel bovenwinds van een bron als benedenwinds van een bron deze methode te gebruiken kan de emissieflux van het tussenliggende gebied worden geschat.

Voor de fluxraam dient in elk geval de hele pluim te worden bemeten. De instrumentatie voor de fluxraammethode kan eenvoudig zijn. Benedenwinds van het te meten object worden op een dwarswinds transect een aantal masten voorzien van PFS (fluxbuisjes) op verschillende hoogten geplaatst. In alle gevallen dient per meetpunt de berekende flux representatief te zijn voor zijn

omgeving. Reeds eerder werd aangegeven, dat een grotere afstand aanleiding kan geven tot een meer homogene pluim, doch geringere concentraties en grotere horizontale en verticale afmetingen.

De fluxbuisjes voor ammoniak (Scholtens *et al.*, 2003a, 2003b; Mosquera *et al.*, 2002a, 2002b; Hofschreuder, 2002) hebben het grote voordeel, dat direct een fluxdichtheid wordt gemeten met behulp van het buisje. Plaatsing van anemometers is niet nodig. Gezien de mogelijkheid van obstakelstroming zullen de buisjes wel altijd in kruisvormige configuratie moeten worden gebruikt, wat per meetpunt vier analyses oplevert (Mosquera *et al.*, 2002a). Gezien het veelbelovende karakter van dit meetprincipe worden de kosten van deze methode ook in een kostenoverzicht nader uitgewerkt.

De methode heeft een paar duidelijke voordelen. Het vergt geen aannamen over homogeniteit van de bron of van het terrein en is in complexe situaties te gebruiken. Er zijn echter ook een aantal nadelen. De aanname is, dat ieder meetpunt zowel qua windsnelheid als qua concentratie representatief is voor het omringende gebied. Wordt grote heterogeniteit verwacht, dan is een dicht aantal meetpunten (zowel concentratie als windsnelheid) nodig. Een tweede nadeel is dat deze methode erg veel meetapparatuur vergt, die echter van geringe gecompliceerdheid hoeft te zijn. De meetinspanning is met een dubbel fluxraam erg groot. Reductie is mogelijk, bijvoorbeeld door bovenwinds slechts met één mast te meten. Dan moet wel worden voldaan aan laterale homogeniteit van het windprofiel en concentratieprofiel. Verliezen van het gas, waarvan emissie bepaling wordt gewenst, als gevolg van chemische reacties of door natte en droge depositie dienen op de schaal van de studie verwaarloosbaar te zijn.

De keuze voor een korte afstand zal resulteren in een gunstige verhouding van de gemeten concentraties benedenwinds van de stal ten opzichte van de achtergrond concentraties. Er kan worden volstaan met relatief korte meetmasten, omdat de verticale verspreiding vlak na de stal nog gering is. Nadeel van een korte afstand is, dat wordt gemeten in het gebied van obstakelstromingen. Lijwervels en afbuiging van de windrichting tengevolge van de geometrie van de stal kan het vinden van een representatief meetvlak bemoeilijken.

#### 5.4.2.3 Fluxraam (Massabalansmethode) met denuders en anemometers

Ten opzicht van de vorige paragraaf is alleen de monsternametechniek veranderd. Bij de bemonstering kan worden volstaan met een groot aantal anemometers gecombineerd met passieve samplers of denuders. Gebruik van denuders heeft als voordeel dat kan worden teruggevallen op een bemonsteringsmethode, die reeds is genormaliseerd (NNI, 1995). De nauwkeurigheid van de methode is goed, namelijk binnen 5 % bij zorgvuldige uitvoering van debietmeting en analyse. Nadeel is dat iedere denuder dient te worden voorzien van een (e.v.t. gezamenlijke) aansluiting via een capillair op een pomp. De pompen dien op hun beurt van elektriciteit te worden voorzien (net, generator of accu's). Het installatiewerk neemt om deze reden al gauw veel tijd in beslag. Een belangrijke doelstelling is snelle uitvoering van metingen met een minimum aan inspanning en kosten. Om deze reden wordt de opzet van fluxraammetingen met denuders niet verder uitgewerkt.

De nauwkeurigheid van de metingen met passieve samplers is een stuk geringer dan van de actieve methoden (10 %). Op grotere afstand van de bron is een fluxraam met passieve monsternemers aantrekkelijk, omdat het windprofiel daar redelijk homogeen verondersteld mag worden zodat aanvullende meting van het windsnelheidsprofiel slecht op één plaats nodig is om een flux te kunnen berekenen. Dicht bij de bron hebben we te maken met obstakelstromingen en dient elk concentratiemeetpunt te worden voorzien van een windsnelheidsmeting om een goede fluxschatting mogelijk te maken. De opzet van de meting wordt daarmee complex. De methode heeft daarmee niet de voorkeur en wordt in het kostenoverzicht niet uitgewerkt.

#### 5.4.2.4 Pluimtransectmeting

Het beschikbaar komen van snelle chemische sensoren heeft het rijdend monitoren van concentraties mogelijk gemaakt. De verhoging van plaatselijke concentraties tengevolge van emissies worden zichtbaar als doorsnede van een pluim boven op de achtergrond wanneer de sensor loodrecht op de windrichting benedenwinds van de bron wordt bewogen. Een tunable diode laser systeem (TDLAS) is voor dit doel bruikbaar voor de componenten  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$ . Fabrikanten claimen ook inzetbaarheid van TDLAS voor  $\text{NH}_3$ , doch de toepasbaarheid is nog niet bewezen. ECN heeft een snelle versie van de Amanda ontwikkeld voor de snelle meting van  $\text{NH}_3$ . Voor pluim meting dient deze snelle sensor te worden gecombineerd met een gewone Amanda. De snelle sensor levert een relatief signaal, de gewone sensor het absolute niveau. Bij snelle pluim metingen wordt alleen informatie over de concentratie op één bepaalde hoogte verkregen. De rij-richting van de rijdende meetwagen moet bij benadering loodrecht op de pluim zijn.

Een Gaussisch pluimmodel wordt gebruikt om verdunningsfactoren voor de meetpunten te berekenen. Een belangrijke bron van onzekerheid vormen deze verspreidingsparameters, omdat slechts op één hoogte een horizontale doorsnede door de pluim wordt verkregen. De onzekerheid in de verspreidingsparameters kan worden omzeild door gebruik te maken van een tracer met bekende bronsterkte (de verdunningsfactor is dan bekend). De pluimmethode is goed bruikbaar voor puntbronnen, waarbij er sprake is van een duidelijke pluim en ook de afstand van de meetlijn tot de bron goed bekend is. Voor oppervlaktebronnen met homogene oppervlakte emissies is de benadering ook bruikbaar. In beide gevallen kan of van een Gaussisch pluimmodel of van een tracer gebruik worden gemaakt. Stallen met uitloop vormen een groter probleem. Doorgaans hebben we te maken met obstakels en complexe bronconfiguratie, waardoor allerlei verstoringen in de pluimvorm optreden. Om deze redenen wordt de pluim methode met inverse modellering niet als een geschikte meetmethode gezien. Gebruik van een tracer biedt geen oplossing. Was een goede simulatie van de emissie van de stal met uitloop met een tracer mogelijk, dan kon van de tracer-ratio methode gebruik worden gemaakt. Die simulatie is echter een probleem en dientengevolge geldt dit ook voor de pluim methode met tracer gebruik. Deze methode wordt in de case niet uitgewerkt.



### 5.4.3 Meetstrategie

Op basis van de paragrafen 4.4 en 5.4.2 en bijlage 1 is gekozen voor de onderstaande combinatie van meetmethoden en meetstrategieën.

#### Stalmeting aan een mechanisch geventileerde stal:

1. Meetventilator met converter-NO<sub>x</sub> monitor (debietmetingen plus NH<sub>3</sub> metingen via een verzamel monsterleiding, M1)
2. Fluxmeting in de ventilatie kanalen met PFS samplers (directe meting van NH<sub>3</sub> flux, M2)
3. Interne tracergasratiomethode met kleine denuder (NH<sub>3</sub> concentratiemetingen) en canister (tracergas (SF<sub>6</sub>) concentratiemetingen, M3)

Emissiemetingen aan de uitloop: Snelle box methode voor NH<sub>3</sub> met gebruik van denuders voor NH<sub>3</sub> en canisters voor de tracer SF<sub>6</sub>. (M5)

Uitgangspunt bij de keuze van de meetprotocollen zijn het bestaande protocol met metingen van juni tot september en metingen van oktober tot januari (voor leghennen in stallen zonder uitloop!) en het hanteren van een meteorologische klassenindeling als alternatief. De meetduur wordt beperkt tot 24 uur gedurende een bepaald aantal dagen per jaar. Deze dagen mogen niet te dicht op elkaar liggen ter vermindering van autocorrelatie. Bij gebruik van het traditionele protocol voor mechanisch geventileerde stallen (converter-NO<sub>x</sub> methode) wordt de stal continu gemeten, de uitloop echter niet. Evenals in de voorgaande voorbeelden wordt hier weer uitgegaan van het bemeten van één of drie stallen.

#### Gekozen meetstrategieën (protocollen):

Protocol	Meetperiode	Meetduur	Aantal locaties
1	Juni tot september en oktober tot januari	Stal continu, uitloop 2 dagen per maand meten	1
2	Juni tot september en oktober tot januari	Stal continu, uitloop 1 dag per maand meten <sup>1)</sup>	3
3	Gekozen meetperiodes in 1 jaar	2 losse dagen per meteoklasse <sup>2)</sup>	1
4	Gekozen meetperiodes in 1 jaar	2 losse dagen per meteoklasse <sup>2)</sup>	3

<sup>1)</sup> Gezien de grote invloed van de snelle boxmetingen op de kosten en de mogelijkheid eenzelfde totale variantie te bereiken met minder metingen per stal als bij meer stallen wordt gemeten (zie paragraaf 2.5) is het aantal metingen in de uitloop verminderd tot 1 dag per maand. Het totaal aantal metingen in de uitloop is dan nog altijd 50% hoger dan bij meting 2 dagen per maand bij één stal.

<sup>2)</sup> Er zijn ook argumenten om in plaats van een klassenindeling een random sampling van één keer per maand te hanteren. De aantallen metingen verschuiven dan van 14 naar 12, wat enige invloed heeft op de kosten.

## 5.4.4 Beoordeling meetstrategieën

*Randvoorwaarden:* In tabel 5.1 zijn 4 randvoorwaarden genoemd waaraan moet worden voldaan. De score van de 12 meetstrategieën die in deze case zijn gekozen ( $M \cdot P = 3 \cdot 4$ ) op deze randvoorwaarden wordt eerst behandeld (zie tabel 5.4). Voor de score op randvoorwaarden is de eerder genoemde eenvoudige klassering gekozen ter vermijding van een uitgebreide tekst.

**Tabel 5.4** Beoordeling meetstrategieën voor case 3: open leghennen stal met uitloop

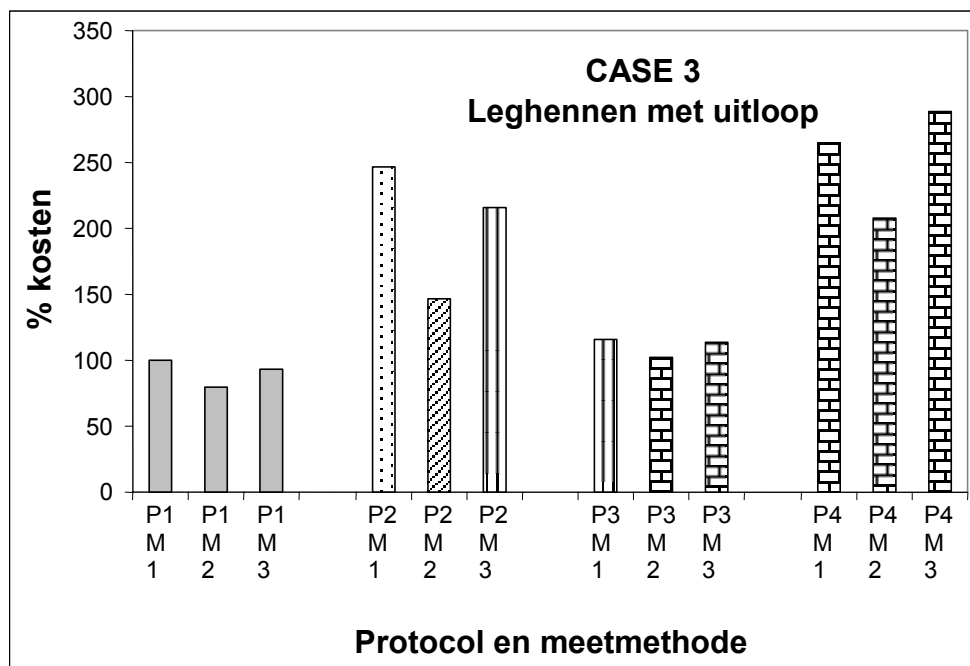
	Inpasbaarheid	Hoeveelheid informatie	Kwetsbaarheid fraude	Grenzen meetmethode	Totaal Score <sup>1)</sup>
P1_M1	***	****	****	****	15
P1_M2	****	**	**	****	12
P1_M3	**	**	**	** 2)	8
P2_M1	*	*****	*****	****	15
P2_M2	****	***	**	****	13
P2_M3	*	***	**	** 2)	8
P3_M1	***	****	****	****	15
P3_M2	***	***	**	****	12
P3_M3	***	***	**	** 2)	10
P4_M1	*	*****	*****	****	15
P4_M2	**	****	**	****	14
P4_M3	**	****	** *	** 2)	11

<sup>1)</sup> Veel sterren betekent een goede score op veel randvoorwaarden.

<sup>2)</sup> Dit geldt voor ammoniak, waarbij de beperkte hoeveelheid lucht, die door de mini-denuder stroomt, beperkingen oplegt.

Uit tabel 5.4 blijkt, dat op basis van randvoorwaarden de gebruikelijke combinatie van converter-NO<sub>x</sub> monitor voor continue metingen en GC voor de tracergasmetingen over de hele linie het hoogst scoort. Bij metingen aan meer stallen worden de verschillen met de PFS methode en de denuder-canister methode geringer en bij jaarrond metingen aan meer stallen zijn de randvoorwaarden voor de traditionele methode en de PFS methode vrijwel gelijk. Ook hier gedragen de inpasbaarheid van de metingen en de gevoeligheid voor fraude zich complementair. Bij de beschouwing van broeikasgasmetingen in plaats van (of naast) ammoniakmetingen zou de denuder-canister meting gunstiger uit de bus komen. Naast de randvoorwaarden speelt de combinatie van nauwkeurigheid en kosten een grote rol in de keuze van een protocol.

De relatieve kosten voor de verschillende meetprotocollen zijn in figuur 5.3 weergegeven. Let erop, dat de kosten gelden voor de metingen van de stal met mechanische ventilatie plus metingen aan de uitloop. De uitloop dient apart met de snelle box methode te worden bemeten. Aangezien hier slechts één geschikte methode voorhanden is zijn die kosten voor alle protocollen vrijwel gelijk en betekent dit, dat bij continue metingen toch apart stalbezoek nodig is om de uitloop metingen uit te voeren. Dit trekt de kosten sterk naar elkaar toe.



**Figuur 5.3** Schatting van de kosten van de gekozen protocollen en meetmethoden relatief tot de huidige meetmethode voor case 3: open leghennen stal met uitloop. *P* staat voor protocol, en *M* voor meetmethode, zoals eerder genoemd

De PFS methode scoort ten aanzien van de kosten over de hele lijn het best met relatief de laagste kosten voor jaarrond metingen aan meer stallen. De wisseling van buisjes kan gedeeltelijk worden gecombineerd met het uitvoeren van metingen aan de uitloop en gedeeltelijk door de boer worden gedaan. De denuder-canister methode en de meetventilator-converter-NO<sub>x</sub> monitor methode scoren ongeveer gelijk. Reden voor de relatief hoge kosten voor de denuder-canistermethode zijn de aanleg en controle van een emissieleiding voor toepassing van de tracerratio methode. Wisseling en controle dient door geschoold personeel te geschieden. De kosten voor continu metingen en 2 losse dagen per meteo klasse (of éénmaal per maand) verschillen niet veel. Dit komt door de noodzaak van extra bedrijfsbezoek om de metingen aan de uitloop uit te voeren. De inpasbaarheid van de box voor de metingen aan de uitloop is in alle gevallen minder goed, aangezien minimaal 2 personen nodig zijn om de metingen uit te voeren. Ook het aantal meetapparaten is door de kostbaarheid beperkt. De metingen aan de uitloop kunnen niet worden gefraudeerd aangezien de onderzoekers op locatie aanwezig zijn gedurende de metingen. Conclusie is, dat de metingen aan de uitloop sterk kostenbepalend zijn en de keuze van de meetmethode voor de stal minder kritisch is, omdat men de stal toch regelmatig moet bezoeken. De keuze van de meetmethode voor de stal zal in dat geval sterk afhangen van het aantal te bemeten stallen als dat aantal groter dan 3 wordt.



## 6 Plan van aanpak

Eerder in dit rapport is aangegeven dat nieuwe ontwikkelingen in meetmethoden, nieuwe inzichten in variatie binnen bedrijven en tussen bedrijven en nieuwe ontwikkelingen in bedrijfsgebouwen aanleiding kunnen geven tot herziening van meetprotocollen of vragen om het opstellen van protocollen voor niet eerder beschreven situaties. Een belangrijk punt is de constatering, dat voor een aantal vragen metingen op meer bedrijven en metingen van kortere duur gewenst zijn. Daarmee moet een belangrijke ombuiging plaatsvinden van meer continue metingen naar campagnewijze metingen. Voor continue metingen is de benodigde tijd voor installatie van apparatuur van ondergeschikt belang in het geheel van kosten. Voor kortdurende metingen kunnen deze kosten relatief veel hoger zijn. De nadruk voor de kortdurende metingen zal dan ook mede liggen op de mogelijkheden van snelle uitvoering met relatief lage installatiekosten of goedkope apparatuur die gedurende het hele jaar geïnstalleerd kan achterblijven. Voorbeelden zijn reeds in het voorgaande hoofdstuk aangegeven. Niet alle genoemde meetmethoden zijn al voldoende ontwikkeld om zonder meer te worden toegepast. Noodzakelijke ontwikkelingen worden voor de geschetste cases zowel als meer in het algemeen voor andere situaties aangegeven in paragraaf 6.1.

Nieuwe meetmethoden dienen in de praktijk te worden getoetst op hun bruikbaarheid. Dit kan plaatsvinden door vergelijking met gebruikelijke metingen of door metingen aan bronnen met bekende bronsterkte. Naast toetsing van meetmethoden is ook toetsing van meetstrategieën en eventuele ontwikkeling van meetstrategie ondersteunende meetmethoden van belang. De noodzakelijke ontwikkelingen voor verbetering van de meetstrategie komen in paragraaf 6.2 aan de orde.

Meetprotocollen dienen de kwaliteit van de metingen te waarborgen, maar kunnen ten aanzien van de voorgeschreven meetstrategie ook zorgen voor een reductie in te meten variabelen en beperking van de omvang van de rapportage. Er is behoefte aan ontwikkeling van nieuwe meetprotocollen ter verhoging van de nauwkeurigheid en/of verlaging van de kosten ten opzichte van de huidige protocollen. Daarnaast vergen nieuwe meettechnieken en nieuwe stalsystemen de ontwikkeling van nieuwe protocollen. Nieuwe protocollen kunnen starten op basis van een concept protocol, waarin ervaringen met oude protocollen en kennis van nieuwe meetmethoden worden ingebracht. Uitvoering van dit concept protocol is nodig om te zien of bijstelling op punten nodig is, voor een definitief protocol kan worden opgesteld. Voorstellen voor ontwikkeling van een aantal conceptprotocollen worden aangegeven in paragraaf 6.3.

### 6.1 Ontwikkeling van meetmethoden

Voor de ontwikkeling en toetsing van meetmethoden wordt breder gekeken dan alleen naar de in hoofdstuk 5 geschetste cases. De voorgestelde toetsing van nieuwe methoden wordt weer ingedeeld naar belang voor de vijf broncategorieën:

1. Gebouwen met een gerichte uitlaat van lucht (mechanisch geventileerd)
2. Gebouwen met een duidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerd, kleine inlaat)

3. Gebouwen met een onduidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerd, open front/ grote inlaat)
4. Gebouwen met een uitloop voor dieren in de buitenlucht
5. Open veld

## 6.1.1 Gebouwen met een gerichte uitlaat van lucht (mechanisch geventileerd)

### 6.1.1.1 Fluxbuisjes.

Een belangrijke ontwikkeling vormt hier de mogelijke inzet van fluxbuisjes in het ventilatie kanaal. Eerste resultaten van dit type metingen zien er veelbelovend uit. De methode zou vooral bij meer kortdurende metingen voordelen bieden, omdat de tijdrovende installatie van meetventilatoren en een net van monsterleidingen voor de converter-NH<sub>3</sub> monitor achterwege kan blijven. De fluxbuisjes worden in principe in een frame onder de ventilatiekoker opgehangen. Meettechnisch is er nog het volgende ontwikkelingswerk nodig:

- Ontwikkeling van methoden om een goede richting van de stroming door PFS samplers in ventilatiekokers te verkrijgen en kwantificering van de drukinvloeden van obstakels in relatie tot de bovenstroomse, en benedenstroomse afstand om een goed protocol voor het gebruik van PFS samplers te kunnen maken (de drukval bepaald de hoeveelheid doorgestroomde lucht).

### 6.1.1.2 Denuder-canister metingen.

Wanneer gelijktijdig ammoniak en broeikasgassen moeten worden bemeten is het gebruik van denuder-canister combinaties een potentieel interessante optie voor kortdurende metingen. De canistermethode heeft zijn mogelijkheden voor broeikasgassen al bewezen. De voorschakeling van een minidenuder is nog niet beproefd. Berekeningen tonen aan, dat de methode alleen in stallen bruikbaar kan zijn in verband met de geringe hoeveelheid te bemonsteren lucht en daarmee de noodzakelijk hoge concentraties aan NH<sub>3</sub>. Deze geringe hoeveelheid bemonsterd materiaal maakt de methode potentieel erg gevoelig voor besmetting met ammoniak door onzorgvuldig handelen. De methode levert in tegenstelling tot de fluxbuisjes geen fluxen (massa stroom per tijdseenheid) op maar concentraties. De methode moet daarom worden aangevuld met een debietschatting. Dat kan in een mechanisch geventileerde stal op de gebruikelijke wijze door plaatsing van meetventilatoren, maar zou voor kortdurende metingen ook kunnen door van de tracer decay methode gebruik te maken. De tracer decay methode houdt in, dat een bepaalde hoeveelheid tracergas in de stal wordt ingebracht en goed wordt gemengd. Uit de inhoud van de stal en de afname van de concentratie wordt het ventilatiedebiet berekend onder aanname van homogene menging van de tracer in de stal. De methode is slechts geschikt voor kortdurende bepalingen, omdat de concentratie door het meest grote ventilatiedebiet snel afneemt. Voor metingen van lange duur is de constant injection methode beter. Het tracergas wordt alleen geïnjecteerd als er metingen in de stal plaatsvinden. De constant injection methode levert het debiet van de stalventilatie op (in evenwicht verlaat er evenveel tracer de stal als er wordt

geïnjecteerd). De methode kan echter ook als tracer-ratio methode worden gebruikt. De verhouding in bronsterkte van bijvoorbeeld ammoniak en de bronsterkte van de tracer is gelijk aan de verhouding van de respectievelijke concentraties, mits gecorrigeerd voor de achtergrond. Het gemeten debiet kan worden uitgezet tegen de stand van de ventilator. Door deze debietmeting bij elke concentratiemeting in de stal te herhalen wordt een ijklijn voor het debiet van de ventilator verkregen.

Meettechnisch is er nog het volgende ontwikkelingswerk nodig:

- Uittesten van de denuder-canister combinatie in een mechanisch geventileerde stal en vergelijking van de verkregen concentraties met de resultaten van een referentiemethode.
- Analyse van de gevoeligheid voor verstoring van de metingen (ontwikkeling van een protocol voor de minidenuders).

### 6.1.1.3 Open pad TDL metingen.

Een derde methode voor snelle uitvoering van metingen, de TDL metingen, is eveneens nog niet beproefd. Door aan één zijde van de stal dicht onder de nok een Tunable Diode Laser aan te brengen en aan de andere zijde een strookje reflectie materiaal op te hangen kan de gemiddelde concentratie van een bepaald gas in de lichtweg worden bepaald. Het meetprincipe berust op absorptie van licht van een specifieke golflengte door het te meten gas en vergelijking van de afname van de intensiteit van de bundel van de absorptiespecifieke golflengte met de intensiteit van een bundel met een golflengte waarin geen specifieke absorptie plaats vindt. (Voor nadere informatie over meetmethoden zie Mosquera *et al*, 2002). Op basis van specificaties van Boreal Laser Inc. is de methode geschikt voor CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub>. In tegenstelling tot gebruikelijke TDL's is geen koeling met vloeibare stikstof nodig en is het stroomgebruik gering. Het opstellen en het uitrusten vergt omstreeks 20 minuten. De methode kan ter bepaling van het ventilatiedebiet worden gecombineerd met de tracer decay methode. De mogelijkheid van het gebruik van een zelfde instrument (maar wel met een andere laser, want ieder gas vergt een daartoe geschikte laser) voor meting tracer is wellicht mogelijk. Combinatie vindt dan plaats met een tracergasemissieleiding. De tracergas emissieleiding kan gedurende een meetjaar in de stal blijven, terwijl de meetinstrumenten snel op te stellen en te verplaatsen zijn.

Meettechnisch is er het volgende ontwikkelingswerk nodig:

- Uittesten van de TDL voor NH<sub>3</sub> voor gebruik in een mechanisch geventileerde stal en vergelijking met de resultaten van de gebruikelijke converter NO<sub>x</sub> monitor methode of opto-akoestische methode.
- Analyse van potentieel versturende gassen op de meting. (literatuur analyse van de gassen, die in de stal voorkomen en vergelijking van hun spectrale absorptie lijnen met de specifieke absorptie lijn van ammoniak en met de referentie golflengte van de laser.
- Analyse van potentiële fysische verstoringen van de meting. (Misalignment door temperatuurinvloeden, stabiliteit van de laser lijn etc.)

## 6.1.2 Gebouwen met een duidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerd, kleine inlaat)

Dit staltype wordt gekenmerkt door goede interne menging van de ventilatielucht met de stallucht. Door de vele openingen is de tracergasmethode de enige praktisch bruikbare methode voor debiet bepaling. Dit kan de constant injection methode of de tracer decay methode zijn. Behalve de gebruikelijke methode van gebruik van een converter-NO<sub>x</sub> monitor of opto-akoestische methode (B&K), zou voor kortdurende metingen gebruik kunnen worden gemaakt van denuder- canister metingen, passieve samplers of natchemische methoden, een nieuwe opto-akoestische methode met lage detectiegrens als gevolg van het gebruik van een laser als lichtbron (Omnisens) en een TDLAS opstelling. De noodzakelijke werkzaamheden voor test en verbetering van de denuder-canister metingen en TDLAS staan reeds in paragraaf 6.1.1 vermeld. De nieuwe opto-akoestische monitor vormt eigenlijk een alternatief voor de converter-NO<sub>x</sub> monitor en de B&K monitor. Vervanging van de NO<sub>x</sub> monitoren door dit instrument zou wellicht het onderhoud en de ijkbehoefte kunnen verminderen. Ten opzichte van de B&K monitor zijn de lagere detectiegrens en verminderde ruis en verminderde ijkbehoefte een voordeel, doch daar staat als nadeel tegenover, dat slechts 1 gas (NH<sub>3</sub>) met dit instrument kan worden gemeten. Een nadere analyse van de nieuwe monitor onder praktijkomstandigheden is gewenst. Principieel verandert er in de opzet van de metingen door gebruik van dit instrument niets. Aanvullend meettechnisch onderzoek voor natuurlijk geventileerde stallen omvat:

- Tracer decay methode voor ventilatie schatting
- Passieve samplers

### 6.1.2.1 Tracer decay methode voor ventilatie schatting

Voor snelle bepalingen is het aanleggen van een tracergas emissiesysteem te arbeidsintensief. Het uittesten van een handmatige verspreiding van de tracer door de stal is gewenst want veel sneller. Wat dient meettechnisch te gebeuren:

- Evalueren van een alternatief voor het tracer gas SF<sub>6</sub> in verband met de schadelijkheid als broeikasgas en voor de stratosferische ozonlaag (bijlage 4). Nieuwe HFK's zouden een goed doch veel minder schadelijk alternatief kunnen zijn. Met name de wateroplosbaarheid van de tracer moet gering zijn, er moet geen explosiegevaar zijn, er mogen geen snelle chemische omzettingen plaatsvinden, de detectielimiet moet laag zijn en gezondheidsschade afwezig. In relatie tot detectie door TDL zouden ook etheen en CO overwogen kunnen worden. Problemen met de dosering zouden echter tot explosiegevaar (beide gassen), gewasschade (etheen) en gezondheidsschade (CO) kunnen leiden. Bij de analyse van de bruikbaarheid dient daarom ook naar mogelijkheden van beveiliging te worden gekeken.
- Bepalen van het ventilatievoud in één stal met beide tracers en de gebruikelijke emissieopstelling om de bruikbaarheid van de nieuwe tracer goed te kunnen vergelijken met die van SF<sub>6</sub>.
- Evaluatie van de handmatige verspreiding van de nieuwe tracer en toepassing van de tracer decay methode in vergelijking met de gebruikelijke SF<sub>6</sub> methode.



### 6.1.2.2 Passieve samplers

De passieve samplers hebben hun kwaliteiten reeds bewezen. Resterende problemen zijn het optreden van grenslaagweerstanden bij lage luchtsnelheden en de beperkt absorptiecapaciteit voor hoge concentraties aan ammoniak. Wat dient er op dit gebied meettechnisch te gebeuren:

- Verkleining van de opstaande rand van de Willemsbadges, zoals beschreven in Hofschreuder *et al.* (1999) en test van de verbeterde badges in de windtunnel met een bekende ammoniak concentratie.
- Evaluatie van de buisvormige sampler voor dit doel (Kirchner *et al.*, 1999).

### 6.1.3 Gebouwen met een onduidelijke in- en uitlaat van lucht (natuurlijk geventileerd, open front/ grote inlaat)

In dit type gebouw kunnen we er niet van uitgaan, dat de menging van een tracer in het gebouw homogeen is. Hetzelfde geldt voor de emissies uit het gebouw zelf. Metingen dienen dan buiten het gebouw plaats te vinden. Nadelen van metingen buiten het gebouw zijn het snelle ondergaan van concentraties in de achtergrond (zeker voor een hoge achtergrondconcentratie als CO<sub>2</sub>) en het probleem van meerdere bronnen en obstakelstromingen. Dat laatste maakt de pluim methode slecht toepasbaar, maar schept ook problemen voor de, voor verstoringen minder gevoelige, massabalansmethode. Meetmethoden, die voor deze gebouwen in aanmerking komen zijn de fluxbuismethode voor ammoniak en de canistermetingen voor de broeikasgassen. De denuder canistermethode is niet bruikbaar vanwege de te geringe ammoniak hoeveelheden, die op de denuder worden opgevangen. Het meettechnisch onderzoek dat hiervoor nodig is heeft alleen betrekking op de fluxbuisjes en is reeds in paragraaf 6.1.1 beschreven. Veel belangrijker is de ontwikkeling inzicht in de meetstrategie voor dit type gebouwen. Dit komt onder paragraaf 6.2 aan de orde.

### 6.1.4 Gebouwen met een uitloop voor dieren in de buitenlucht

Binnen de categorie gebouwen met uitloop voor dieren is een onderscheid in drie typen zinvol; gebouwen met mechanische ventilatie, gebouwen met natuurlijke ventilatie, beiden redelijk dicht, en zeer open natuurlijk geventileerde gebouwen. De redelijk dichte gebouwen kunnen op dezelfde wijze als de natuurlijk geventileerde gebouwen met beperkte openingen worden behandeld. De emissie van het gebouw kan zo afzonderlijk van de uitloop worden bepaald. Rest de bepaling van de emissie van de uitloop. Dit is meettechnisch een complex gebied door nabijheid van de stal als bron, het onregelmatig bemesten van het veld en de obstakelstroming rond de stal. Micrometeorologische methoden zullen voor dit terrein niet opgaan. In feite blijft slechts de boxmethode over om emissies te bepalen. Ter vermijding van verstoring van de energie- en vochtbalans op de meetplek dient dit wel een snelle box methode te zijn (Mosquera *et al.*, 2002, Hofschreuder, 2002).

#### 6.1.4.1 Snelle box methode voor uitloop

Er bestaat bij ECN reeds ervaring met de snelle box methode. ECN gebruikt N<sub>2</sub>O als tracer en een vloeibare stikstof gekoelde TDLAS voor snelle detectie van N<sub>2</sub>O en methaan. Een zeer snelle

meetmethode is plezierig. Het verloop van de tracergasconcentratie en het verloop van de concentratie van het te bestuderen gas worden beide gevolgd in de tijd en zouden in principe parallel moeten verlopen (kwaliteitskontrolle). Snelle meting is niet altijd mogelijk en niet strikt noodzakelijk. Bepaling van de aanvangsconcentratie en de eind concentratie (of gemiddelde concentratie) na een korte periode is ook mogelijk. Meettechnisch dient het volgende te worden bekeken:

- Inventarisatie van de mogelijkheden van een kleine TDLAS onder omgevingscondities (Boreal Gasfinder) te koppelen aan een Whitecel voor snelle meting van  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  (en eventueel  $\text{NH}_3$  als de detectiegrens toerijkend is) en een gasvormige tracer ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ?)
- Uittesten van het gebruik van integrerende metingen voor situaties waar snelle metingen niet mogelijk zijn ( $\text{NH}_3$ ). Hierbij kan worden gedacht aan denuders, wasflesjes of detectiebuisjes. De gebruikelijke converter- $\text{NO}_x$  monitor (a) en opto-akoestische monitor van B&K (b) zijn voor dit doel te traag (a+b), zijn zwaar (a), verbruiken veel stroom (a) of hebben een detectiegrens die niet laag genoeg is (b).

Voor de zeer open stal met uitloop is de situatie in grote lijnen vergelijkbaar met de situatie van open stallen zonder uitloop. Doordat alleen massabalansmetingen kunnen worden toegepast dient de stal inclusief uitloop als één geheel te worden bemeten. In verband met obstakelstromingen dient er speciaal op te worden gelet, dat de uitloop mee wordt gemeten.

### 6.1.5 Open veld

Dit type metingen komt uitvoerig aan de orde in Hofschreuder (2002). De huidige micrometeorologische methode op ronde veldjes is geschikt voor vergelijkende metingen, doch minder geschikt voor bepaling van het absolute emissieniveau. Voor dit laatste zijn de eddy-correlatiemethode ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) en de gradiëntmethode ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) de meest aangewezen methoden. Geschikte meetmethoden zijn open pad NDIR, TDLAS, Amanda en in mindere mate GC. Voor kortdurende metingen zijn voor ammoniak gradiëntmetingen met passieve samplers en windprofielmeting of fluxbuismeting zonder windprofielmeting toepasbaar. Voor broeikasgassen zijn canistermetingen met windprofielmetingen toepasbaar. De meetmethoden zijn voor dit doel in principe goed uit ontwikkeld. Nieuw sinds het verschijnen van het overzicht rapport over emissie metingen van gassen boven open velden is de mogelijkheid tot het gebruik van open pad meting met een gebruiksvriendelijke TDLAS. Dit meetprincipe zou in principe ingezet kunnen worden in een gradiëntopstelling boven een veld. De uitwisselingscoëfficiënt wordt dan ook als gebiedsgemiddelde met scintillometrie bepaald. Deze methode is nog niet beproefd:

- Test van de toepassing van TDLAS in open pad opstelling naast een scintillometer voor gebiedsgemiddelde emissiebepaling van  $\text{CH}_4$ .

Bezien moet worden of de detectiegrenzen en ruis toereikend zijn voor gebruik van de opstelling voor  $\text{CO}_2$ . De noodzaak hiervoor is minder, omdat hier in de vorm van de eddy correlatie opstelling met de Licor 7500 al een goed alternatief aanwezig is. Voor  $\text{N}_2\text{O}$  dient eerst een goede TDL te worden ontwikkeld, die geschikt is voor langdurige metingen.

## 6.2 Toetsing van nieuwe methoden en voorbereiding van protocollen

De voorbereiding van nieuwe protocollen kan worden onderscheiden in de volgende onderdelen:

- Toetsing van nieuwe meetmethoden
- Wijziging van bestaande protocollen
- Ontwikkeling van methoden voor de realisatie van nieuwe protocollen

### 6.2.1 Toetsing van nieuwe meetmethoden

In paragraaf 6.1 is reeds op meerdere plaatsen aangegeven, dat ontwikkeling van nieuwe meetmethoden gepaard dient te gaan met validatie van die methoden. Voor nieuwe stalsystemen betekent dat bijvoorbeeld toetsing van een meetstrategie met gebruik van een bekende bronsterkte (voor de stal in gebruik wordt genomen). Dan kan worden vastgesteld of de gekozen meetmethode en meetstrategie adequaat zijn voor dit nieuwe type stal. Voor stallen waarvoor reeds protocollen aanwezig zijn, is vergelijking van een nieuwe methode met de uitkomsten van een bestaand protocol zinvol. In principe dient er geen discontinuïteit in de uitkomsten van een emissiebepaling te zijn. Dit zou het vertrouwen in de uitkomsten van metingen, zowel als de rechtszekerheid van bemeten bedrijven kunnen schaden. Aandacht voor dit punt is dus van groot belang.

### 6.2.2 Wijziging van bestaande protocollen

In hoofdstuk 4 worden alternatieven voor bestaande protocollen voorgesteld. Behalve dat er sprake is van nieuwe meetmethoden (zie hiervoor), is er ook sprake van meting op meer plaatsen, gedurende een heel jaar en met tussenpozen tussen de opeenvolgende metingen. Analyse van de invloed van andere protocollen op gemiddelde en variantie van emissiebepalingen voor mechanisch geventileerde stallen en natuurlijk geventileerde stallen werd reeds uitgevoerd. Deze analyse omvatte echter het gebruik van een meetperiode van een week en tussenpozen van één of meerdere weken. Gegevens over benodigde aantallen voor dagmetingen zijn niet beschikbaar en in dit rapport slechts op ruwe wijze geschat. Nadere wiskundige analyse is daarom gewenst. Rekentechnisch zijn de volgende analyses nodig:

- Analyse van de bijdrage van de analyse fout, variantie van de metingen binnen de stal en variantie van de metingen tussen de stallen aan de totale variantie voor een meetduur van telkens één dag. Hiervoor kunnen bestaande databestanden worden gebruikt.

Voor nieuwe stalsystemen is er de wens om al in een vroeg stadium tot een schatting van de emissie te komen (voorlopige emissiefactor). Voor zo'n nieuw type stal bestaan nog geen protocollen. De ervaring met bestaande protocollen en traditionele en nieuwe meetmethoden kan als basis dienen voor het opstellen van een concept protocol.

Onzekerheid in de representativiteit van het management van de proefstal voor praktijkomstandigheden in later te bouwen vergelijkbare stallen en onvolkomenheden in het concept protocol maken dat deze emissiefactor slechts voorlopig kan zijn. Uitvoering van dit concept protocol geeft aan of aanpassingen nodig zijn om dit concept te laten evolueren richting

een protocol. Het grote beslag op mankracht en middelen van het verzamelen van aanvullende informatie kwam reeds ter sprake. Tevoren dient te worden bedacht welke analyse men ten aanzien van het nieuwe protocol wil uitvoeren (analoog aan de procedure gevolgd voor de oude protocollen) om dit te optimaliseren en welke aanvullende gegevens men daarvoor nodig heeft.

### 6.2.3 Ontwikkeling van methoden voor de realisatie van nieuwe protocollen

Nieuwe bedrijfssystemen en nieuwe technieken vragen de ontwikkeling van een nieuwe meetstrategie, die vervolgens in een nieuw meetprotocol terecht kan komen. Voor de mechanisch geventileerde stallen en natuurlijk geventileerde stallen met kleine openingen worden wel andere technieken voorgesteld, doch de meetstrategie wordt in dit geval niet door de meetmethoden gedictieerd. Voor de open stallen en stallen met uitloop ligt dat anders. Probleem is daar, om buiten een staande lijwervel te meten en toch voldoende dicht bij de stal te meten om een duidelijke verhoging van de concentraties boven de achtergrond te zien. Voor de uitloop metingen, die niet tegelijk met de bepaling van de stal emissie plaats vinden (snelle box methode) dient een meetschema te worden opgesteld, dat rekening houdt met het spreidingsgedrag en mestpatroon van de dieren in de uitloop. Voor open pad gradiënt metingen zijn voldoende aanwijzingen beschikbaar om tot representatieve meetopstellingen te komen (meting binnen de aangepaste grenslaag en fingerprint van de meting) zonder dat aanvullend onderzoek op meetstrategisch gebied nodig is.

#### 6.2.3.1 Meetstrategie voor massabalansmeting

Voor zeer open stallen vormen massabalans en pluimmetingen de enige mogelijkheid tot het bepalen van de emissie. Een probleem bij de toepassing van de massabalansmeting rond bedrijven vormt de vraag waar meetpunten wel of niet opgesteld kunnen worden. Deze vraag is te benaderen via het maken van een klassenindeling van bedrijven en metingen aan obstakelstromingen rond kengeometriën voor deze klassen in een grenslaag windtunnel, stromingsmodellen voor obstakels of door visualisatie van de pluim in de praktijk. Een mogelijke aanpak wordt geschetst in bijlage 5. Resultaten van twee experimenten, één met een kunstmatige ammoniakbron in een kippenstal met natuurlijke ventilatie (Mosquera *et al*, 2002) en één aan een lange hoop mest van 2 meter hoog op een akker (mest uit een potstal) (Mosquera *mondelinge mededeling* 2003) geven aan, dat de obstakelstromingen zeer grote invloed hebben op de resultaten bij afstanden tussen object en fluxraam van omstreeks 20 meter. Nader onderzoek is op dit punt noodzakelijk voor open stallen betrouwbaar bemeten kunnen worden.

## 6.3 Ontwikkelen van nieuwe meetprotocollen

Nieuwe meetprotocollen komen tot stand door wijziging van bestaande protocollen als gevolg van nieuwe inzichten of op basis van evaluatie van conceptprotocollen voor nieuwe bedrijfssystemen. Belangrijke aspecten in een protocol zijn:

- Doel van de metingen
- Randvoorwaarden voor de metingen op meettechnisch-, landbouwkundig- en ander gebied.

- Meetstrategie ten aanzien van aantal bedrijven, spreiding van de metingen in de tijd rekening houdend met seizoenen en opleg cycli.
- Meetduur per meting en perioden tussen opeenvolgende metingen.
- Meetmethode
- Analyse- en dataverwerkingsprotocol
- Rapportage eisen.

Het *doel van de metingen* (zie tabel 2.1) kan sterk uiteen lopen. Sommige doelen (management ondersteuning, keurmerk) hebben voldoende aan vergelijkende metingen en stellen weinig eisen aan de juistheid van het absolute niveau van gemeten waarden. Voor sommige doelen (emissiefactoren) zal de nadruk niet alleen op juistheid (exacte waarde voor een stal) van de emissiewaarde liggen, maar is ook de representativiteit (goede mix van juiste doch door management verschillende getallen, zodat een goed beeld van de gemiddelde emissie wordt verkregen) zeer belangrijk. Voor handhaving van vergunningen zijn absolute niveaus, maar ook representativiteit van de metingen voor een specifiek bedrijf van groot belang. Afstemming van een protocol op het kleinste gemene veelvoud van eisen voor de verschillende gebruiksdoelen zou tot onnodig zware eisen en hoge kosten leiden voor een aantal gebruiksdoelen. Het is daarom zinvol na te denken over de ontwikkeling van meerdere protocollen binnen elk van de vijf categorieën van brontypen, dan wel per categorie één protocol op te stellen, waarin de gebruiksdoelen beschreven staan waarvoor het protocol geschikt is en waarin per gebruiksdoel aangegeven wordt waar, wanneer, hoe vaak en hoe lang er wordt gemeten en bij hoeveel bedrijven. Ook ten aanzien van de nauwkeurigheid van de gebruikte meetapparatuur kunnen gedifferentieerde eisen worden gesteld. Dit kan in tabellen overzichtelijk worden samengevat. Het betekent een breuk met de huidige protocollen, die kort samengevat vooral gericht zijn op zo volledig mogelijk, zo nauwkeurig mogelijk en bij voorkeur continu. Reeds eerder is aangegeven, dat dit tot onnodig hoge kosten leidt.

*Randvoorwaarden op meettechnisch gebied* zijn reeds aan de orde gekomen en verschillen per broncategorie. Massabalansmethoden bijvoorbeeld worden op basis van het grote aantal meetpunten bij voorkeur gekoppeld aan passieve methoden, die wat minder nauwkeurig zijn dan actieve methoden. Gebruik van actieve methoden zou de opzet duur maken en wellicht niet nauwkeuriger door systematische verschillen tussen de meetsystemen (minimaal één per mast) en het discontinue karakter van de metingen door omschakeling van meethoogten. Ook de analyse van bestaande protocollen (zie hoofdstuk 2) geeft aan, dat de analyse-nauwkeurigheid vaak een beperkte invloed heeft op de totale nauwkeurigheid. Meer evident zijn zaken als toegankelijkheid van de stal of het omliggende terrein, stroomvoorziening via een aparte en ook apart afgezeerde groep met voldoende spanning en capaciteit en opstel mogelijkheid voor apparatuur op een molest vrije plaats. Bij metingen in situaties met hoge concentraties (procenten) als mestopslagen en mestkelders dient ook de veiligheid van het personeel te worden gewaarborgd en dient het risico van explosiegevaar bij inzet van de apparatuur in ogenschouw te worden genomen. De normale bedrijfsvoering dient niet door de meetopstelling te worden beïnvloed en ook veranderingen in de bedrijfsvoering ten behoeve van de metingen (meer gesloten houden van deuren etc) dient op invloeden voor de meetwaarden te worden gescreend.

De *meetstrategie* is sterk afhankelijk van het doel van de metingen. De huidige protocollen geven strenge richtlijnen over aantallen dieren, meetduur en seizoen waarin wordt gemeten. Het aantal metingen, de verdeling in de tijd en de tijd tussen metingen is reeds uitgebreid behandeld. Bij meer steekproefsgewijze metingen aan meerdere stallen wordt bij voldoende metingen vanzelf een middeling over eventuele oplegcycli verkregen en kunnen ook de normale variaties, die in dieraantallen voorkomen worden toegestaan. Dit wil niet zeggen, dat het protocol hier geen rekening meer mee hoeft te houden, maar betekent wel, dat minder snel waarden verworpen moeten worden op basis van niet representativiteit voor een volle stal. Ook eisen ten aanzien van de voeding kunnen wellicht worden versoepeld.

De *meetduur en periode tussen de metingen* zijn reeds behandeld. Gezien de dagcycli zijn metingen over minimaal 24 uur noodzakelijk. Voor metingen in de buitenlucht (massabalans) kan de weersituatie in een periode van 24 uur nog wel eens roet in het eten gooien. Denk daarbij aan een draaiing van de wind of een wind, die 's nachts gaat liggen. In dat geval is opdeling van de meting in een dag- en nachtmeting raadzaam, zodat in elk geval de helft van de meetinspanning resultaat oplevert. Ter vermijding van autocorrelatie, dient de tijdsperiode tussen opeenvolgende metingen niet te kort te zijn.

De keuze van een *meetmethode* heeft een nauwe relatie met broncategorie en meetdoel. Onder meetdoelen is reeds het voorstel gedaan om in afhankelijkheid van meetdoel naar te kiezen meetmethoden te differentiëren.

*Analyse en dataverwerkingsprotocollen* hebben een belangrijke functie bij de kwaliteitsborging. Voor analyses is het verstandig de handelingen vast te leggen. Bij automatische instrumenten zal dit vooral reiniging van (de optica) van het instrument, vervanging van reagentia en filters, nulstelling, controle op gevoeligheid en ijking omvatten. Voor fluxbuisjes, passieve samplers e.d. omvat dit het reinigen van onderdelen, controle op de kwaliteit van de reagentia, kwaliteit van coating, bewaarprocedure, handelingen op de meetplaats en omschrijving van de analyse omvatten. Belangrijk bij de verwerking van gegevens is vastlegging van de rekenmethodiek, maar ook detectie van uitschieters of meetomstandigheden die aanleiding geven tot grote fouten (bijvoorbeeld lage windsnelheden bij passieve samplers). Het verwijderen van waarden waarbij tijdens de meting iets fout is gegaan (besmetting, opraken reactiegas e.d) is evident. Dit vergt wel de beschikbaarheid en het bijhouden van veldformulieren of logboeken over de metingen. Na deze eerste selectie dient te worden nagegaan of voldoende meetwaarden over zijn voor analyse. Gebruikelijk is een grens van 80% geslaagde metingen. Dit percentage moet in het licht van continue naar discontinue metingen wellicht worden aangepast. Vervolgens dient een analyse op uitbijters plaats te vinden (waarden meer dan 3 sigma afwijkend van het gemiddelde). Deze waarden moeten aan een nadere analyse worden onderworpen. Als de waarden aanwijsbaar aan extreme omstandigheden zijn te wijten (hittegolf e.d.) kan worden overwogen deze waarden niet in verdere berekeningen te betrekken. Uitschieters zonder aanwijsbare oorzaak maken deel uit van de steekproefverzameling en dienen te worden meegenomen in de berekeningen. Voor de massabalansmetingen is analyse van het flux- of concentratie profiel van belang om te zien of er geen vreemde meteorologische invloeden of staande wervels binnen het meetvlak zijn

opgetreden. Statistische analyse of vergelijking met een emissiemodel kunnen nader inzicht geven in het voorkomen van extreme waarden.

De eisen aan *rapportage* zijn in de bestaande protocollen hoog, wat aanleiding geeft tot hoge kosten. Het gebruik van gedetailleerde protocollen en voorschriften voor analyse en dataverwerking maakt verwijzing mogelijk, waardoor het meetrapport kort gehouden kan worden. Een tweede punt, waarin in de rapportage kan worden bezuinigd is de omschrijving van de meetsituatie (bouwjaar stal, tijdstip van ingebruikname, beschrijving van de geometrie en ventilatiesystemen). Een kopie van gedateerde bouwtekeningen zou kunnen volstaan. Voor nieuwe stalsystemen kan een uitzondering worden gemaakt. Hier zal de bouwwijze van invloed zijn op het emissieniveau en dienen emissiebeperkende voorzieningen goed te worden vastgelegd en te worden gekoppeld aan de meetresultaten.

Door de beknopte weergave van een aantal eisen en wensen ten aanzien van nieuwe protocollen is de voorgaande opsomming zeker niet limitatief. Nadere uitwerking dient te geschieden in de nieuwe protocollen.





## Literatuur

- Akkermans, W. en Goedhart, P.W. 2001. Meetprotocollen ammoniakemissie. Leghennen: analyse van gegevens en simulatie resultaten. *Interne mededeling*.
- Bakker, G.C.M., Hol, J.M.G. en Smits, M.C.J. 2003. De additiviteit van voedingsmaatregelen om de ammoniakemissie te verlagen uit varkensstallen. Proef 2: stalmetingen en *in vitro* ammoniakemissie bij drie rantsoenen. *ID TNO Diervoeding Rapport*. In voorbereiding.
- Beoordelingsrichtlijn. 1996. Beoordelingsrichtlijn in het kader van Groen Label stallen, uitgave maart 1996. Publicatie van de Ministeries van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieugeheer en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- Beurskens, A.G.C., Hol, J.M.G. en Mol, G. 2002a. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LIII: Stal voor vleeskalkoenen met frequente strooiselverwijdering. *IMAG Rapport 2002-14*.
- Beurskens, A.G.C., Hol, J.M.G. en Mol, G. 2002b. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LV: Volièrestal voor leghennen. *IMAG Rapport 2002-16*.
- Bleijenberg, R. en Ploegaert, J.P.M. 1994. Handleiding meetmethode ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen. *IMAG Rapport 94-1*.
- Britter, R.E, Caton, F, Cooke, K.M, Di Sabatino, S, Simmonds, P.G, Nickless, G. (2001). Results from Three Field Tracer Experiments at the Neighbourhood Scale in the city of Birmingham UK.
- Dop, H. van, Addis, R, Fraser, G, Girardi, F, Graziani, G, Inoue, Y, Kelly, N, Klug, W, Kulmala, A, Nodop, K, Pretel, J. (1998). ETEX: A European tracer experiment; Observations, dispersion modeling and emergency response. *Atmosph. Environm.* **32**:4089-4094.
- Flippi, R.C.H (2002?) SF<sub>6</sub> policy development in the Netherlands. Min VROM, Spatial Planning and Environment, IPC 650.
- Goedhart, P.W. 1998a. Meetprotocollen ammoniakemissie. Opmerkingen bij de gegevens van guste en dragende zeugen. *Interne mededeling*.
- Goedhart, P.W. 1998b. Meetprotocollen ammoniakemissie. Relatie tussen emissie en temperatuur voor de gegevens van guste en dragende zeugen. *Interne mededeling*.
- Goedhart, P.W. 1998c. Meetprotocollen ammoniakemissie. Grafische beschrijving van de gemiddelde dagtemperatuur “de Bilt” over de periode 1961-1997. *Interne mededeling*.
- Goedhart, P.W. 1999. Meetprotocollen ammoniakemissie. Nadere analyse van de Wangen dataset (zeugen) en vergelijking van enige meetprotocollen op basis van een lineair en een logistisch simulatiemodel. *Interne mededeling*.
- Goedhart, P.W. 2000. Meetprotocollen ammoniakemissie. Grafische beschrijving van de meteogegevens “de Bilt” over de periode 1961-1997. *Interne mededeling*.
- Green, M.C, Tombach, I (2000) Use of Project Mohave Perfluorocarbon Tracer data to evaluate Source Receptor Models. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* **50**:717-723.

- Groenestein, C. M. en Montsma, H. 1991. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen: Grupstal voor melkvee. *DLO Rapport 91-1002*.
- Groenestein, C. M. en Reitsma, B. 1993. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen X: Potstal voor melkvee. *DLO Rapport 93-1005*.
- Groenestein, C.M., Hol, J.M.G., Vermeer, H.M., Den Hartog, L.A. en Metz, J.H.M. 2001. Ammonia emission from individual- and group-housing systems for sows. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **49**, 313-322.
- Hales, J.M. (1998). Tracer Applications in the California Regional PM 2.5/PM10 Air Quality Study. Envair report.
- Hendriks, M.W.B. 1998. Meetprotocollen ammoniakemissie. Opmerkingen bij de gegevens van melkveestallen. *Interne mededeling*.
- Hendriks, M.W.B. 1999a. Meetprotocollen ammoniakemissie. Opmerkingen bij de gegevens van vleesvarkens. *Interne mededeling*.
- Hendriks, M.W.B. 1999b. Meetprotocollen ammoniakemissie. Vergelijken van meetprotocollen op basis van simulatiemodellen. *Interne mededeling*.
- Hofschreuder, P. 2002. Ontwikkeling van een meetmethode voor gasvormige emissies van oppervlaktebronnen op landbouw-praktijkschaal. Deel 1: Overzicht van meetmethoden en rekenmethoden. *IMAG Rapport 2002-13*.
- Hofschreuder, P., Van der Meulen, W., Heeres, P. en Slanina, S. 1999. The influence of geometry and draught shields on the performance of passive samplers. *J. Environ. Monit.* **1**, 143-147.
- Hol, J.M.G. en Groot Koerkamp, P.W.G. 1999. Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLIV: Rondloopstal voor dragende zeugen met voerstation en strobed. *IMAG Rapport 99-08*.
- Hol, J.M.G., Klarenbeek, J.V. en Groot Koerkamp, P.W.G. 1999. Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVII: Biothermische droogunit voor voorgedroogde leghennenmest met luchtbehandeling door een chemische wasser. *IMAG Rapport 99-11*.
- Hol, J.M.G., Klarenbeek, J.V. en Groot Koerkamp, P.W.G. 2000. Geuremissie van biothermische droogunit voor voorgedroogde leghennenmest met luchtbehandeling door chemische wasser. *IMAG Nota P 2000-39*.
- Hol, J.M.G., de Gijzel, P. en Groot Koerkamp, P.W.G. 2001a. De ammoniak- en geuremissie van een scharrelstal met twee verdiepingen met mestbanden onder de roosters. *IMAG Rapport 01-01*.
- Hol, J.M.G., Wever, A.C. en Aarnink, A.J.A. 2001b. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen XLIX. Beddenstal voor vleesvarken. *IMAG Rapport 2001-04*.
- Hol, J.M.G., Groenestein, C.M. en Evers, E. 2001c. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LI: Beddenstal voor biggen. *IMAG Rapport 2001-09*.

- Hol, J.M.G., Simonse, L., Verwijs B. en Huijsmans, J.F.M. 2003. Ammoniakemissie bij mesttoediening op grasland. Praktijkmetingen op twee Koeien & Kansen bedrijven. *IMAG Nota*, in voorbereiding.
- Huijsmans, J.F.M., Monteny, G.J., Hol, J.M.G. en Ettema, F.H. 1999. Ammoniakemissie na bovengronds toedienen van FIR-rundermest. *IMAG-DLO Nota P99-24*, Wageningen.
- Huijsmans, J.F.M., De Jong, A. en De Mol R.M. 2000a. Ammoniakemissie bij het onderwerken van mest op bouwland in een tweede werkgang. Effect van aanpassingen in de regelgeving. *IMAG Nota P2000-71*, Wageningen.
- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G. en Hendriks, M.M.W.B. 2000b. Effect of application technique and external factors on ammonia volatilisation from manure applied to grassland. Recycling of Agricultural Municipal and Industrial Residues in Agriculture, RAMIRAN 2000. In *Proceedings of the 9th International Workshop of the Network*, Gargnano, 6-9 September 2000, University of Milan, pp. 357-360.
- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G. en Hendriks, M.M.W.B. 2001. Effect of application technique, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **49**, 323-342.
- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G. en Verwijs, B.R. 2002. Mesttoediening op bouwland in het voorjaar. Metingen ammoniakemissie bij mesttoediening in graan. *IMAG Nota P 2002-83*.
- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G. en Vermeulen, G.D. 2003. Effect of application method, manure characteristics, atmosphere and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. Submitted to *Atmospheric Environment*.
- Huis in 't Veld, J.W.H. en Groot Koerkamp, P.W.G. 2001. Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen L: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met een geprofileerde vloer voor melkvee; winterperiode. *IMAG Rapport 2001-08*.
- Huis in 't Veld, J.W.H. en Monteny, G.J. 2003. Methaanemissie uit natuurlijk geventileerde melveestallen. *IMAG Rapport 2003-01*.
- Huis in 't Veld, J.W.H., Monteny, G.J. en Scholtens, R. 2001. Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVIII: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met sleufvloer voor melkvee; zomerperiode. *IMAG Rapport 2001-03*.
- Huis in 't Veld, J.W.H., Evers, E. en Mol, G. 2002. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVII: Natuurlijk geventileerde potstal voor melkgeiten. *IMAG Rapport 2002-18*.
- Huis in 't Veld, J.W.H., Smits, M.C.J. en Monteny, G.J. 2003. Ammoniakemissie uit melkveestallen van Koeien&Kansen bedrijven. Meetresultaten van één korte meetperiode per bedrijf. *IMAG Rapport*, in voorbereiding.
- Kirchner, M., Braeutigam, S., Ferm, M., Haas, M., Hangartner, M., Hofschreuder, P., Kasper-Giebl, A., Römmelt, H., Striedner, J., Terzer, W., Thöni, L., Werner, H. en Zimmerling, R.

1999. Field intercomparison of diffusive samplers for measuring ammonia. *J. Environ. Monit.* **1**, 259-265.
- Kroodsma, W, Huis in 't Veld, J.W.H, Scholtens, R. 1993 Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing. *Livestock Production Science*, **35**, 293-302.
- Mc Williams, J. (2002) Review of air flow measurement techniques. Lawrence Berkeley National Laboratory 49747. pp 114.
- Monteny, G.J., Hol, J.M.G., Wever, A.C en Scholtens, R. 1999. Ammoniakemissie op gebiedsniveau binnen het Stikstofonderzoekprogramma (STOP). *IMAG Rapport 99-16*.
- Monteny, G.J. (2000) Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Proefschrift Wageningen Universiteit, Wageningen, Nederland. 156 pp
- Monteny, G.J. en Hol, J.M.G. 2001. Ammoniakemissie en toevoegmiddelen. Effecten van de middelen Aroma-vital en Ani-vital op de ammoniak- en geuremissie van een varkensstal. *IMAG Rapport P 2001-10*.
- Monteny, G.J., Smits, M.C.J., van Duinkerken, G., Mollenhorst, H. en de Boer, I.J.M. 2002. Prediction of ammonia emission from dairy barns using feed characteristics. Part II: relation between urinary urea concentration and ammonia emission. *J. Dairy Sci.* **85**, 3389-3394.
- Mosquera, J. 2003. Guidelines for the use of passive flux samplers (PFS) to measure ammonia emissions from mechanically ventilated animal houses. *IMAG Rapport*. In voorbereiding.
- Mosquera, J., Hensen, A., van den Bulk, W.C.M., Vermeulen, A.T., Möls, J.J. en Erisman, J.W. 2000. NH<sub>3</sub> flux measurements at Schagerbrug and Oostvaardersplassen. The Dutch contribution to the GRAMINAE experiment. *ECN Report ECN-C--00-079*.
- Mosquera, J., Hensen, A., van den Bulk, W.C.M., Vermeulen, A.T. en Erisman, J.W. 2001. Long term NH<sub>3</sub> flux measurements above grasslands in the Netherlands. Comparison between an intensive and an extensive field. *Water Air and Soil Pollution: Focus* **1**, 203-212.
- Mosquera, J., Hofschreuder, P. en Hensen, A. 2002a. Application of new measurement techniques and strategies to measure ammonia emissions from agricultural activities. *IMAG Rapport 2002-11*.
- Mosquera, J., Hofschreuder, P., Erisman, J.W., Mulder, E., van 't Klooster, C.E., Ogink, N., Swierstra, D. en Verdoes, N. 2002b. Meetmethode gasvormige emissies uit de veehouderij. *IMAG rapport 2002-12*.
- Mosquera, J., van den Top, S.G., Huis in 't Veld, J.W.H., Beurkens, A.G.C., Wagemans, M.J.M. en Hol, J.M.G. 2003. Handleiding meetmethode ammoniakemissie uit natuurlijk geventileerde stallen. *IMAG Rapport*. In voorbereiding.

- NNI. 1995. NVN 2820 Luchtkwaliteit, sensorische geurmetingen met een olfactometer. *Nederlands Normalisatie Instituut*, Delft, Maart 1995.
- Ogink, N.W.M. en Klarenbeek, J.V. 1997. Evaluation of a standard sampling method for determination of odour emission from animal housing systems and calibration of the Dutch pig odour unit into standardized odour units. In *Proceedings of the international Symposium "Ammonia and odour control from animal production facilities"*, pp. 231-238. Vinkeloord, 6-10 October 1997, The Netherlands.
- Ogink, N.W.M. en Lens, P.N. 2001. Geuremissie uit de veehouderij. Overzichtsrapportage 1996-1999. *IMAG Rapport 2001-14*.
- Ogink, N.W.M. and P.W.G. Groot Koerkamp, 2001. Comparison of odour emissions from animal housing systems with low ammonia emissions. Proceedings: 1<sup>st</sup> IWA International Conference on Odour and VOCs: Measurement, Regulation and Control Techniques. The University of NSW, Sydney, Australia, 25-28<sup>th</sup> March 2001. *Water Science and Technology*, 2001, *issue 9*, p.245-252.
- Ogink, N.W.M. en Mol, G. 2002. Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. *IMAG Nota P 2002-57*.
- Scheer, A., Hol, J.M.G. en Mol, G. 2003. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen. Stal voor konijnen met afvoer van mest. *IMAG Rapport*. In voorbereiding.
- Scheer, A., Hol, J.M.G. en Groot Koerkamp, P.W.G. 2001. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LII. Volière stal voor opfokleghennen. *IMAG Rapport 2001-12*.
- Scheer, A., Hol, J.M.G. en Mol, G. 2002a. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LIV: stal voor vleeskuikenouderdieren met continue drogen van mest. *IMAG Rapport 2002-15*.
- Scheer, A., Hol, J.M.G. en Mol, G. 2002b. Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LVI: Scharrelstal voor leghennen met frequente mest- en strooiselverwijdering. *IMAG Rapport 2002-17*.
- Scholtens, R. (1993). NH<sub>3</sub>-converter + NO<sub>x</sub>- analyser. In *Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij 16* (eds E.N.J. van Ouwkerk). DLO, Wageningen, p. 19-22.
- Scholtens, R, Hol, J.M.G, 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, Hol, J.M.G, 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* (in press)
- Steenvoorden, J.H.A.M., Bruins, W.J., Eerdt, M.M. van, Hoogeveen, M.W., Hoogervorst, N., Huijsmans, J.F.M., Leneman, H., van der Meer, H.G., Monteny, G.J. en de Ruijter, F.J.

1999. Monitoring van nationale ammoniakemissies uit de landbouw: Op weg naar een verbeterde rekenmethodiek. *Reeks Milieuplanbureau* 6, SC-DLO, Wageningen.
- Straume, A.G, Dietz, R.N, N'Dri Koffi, E, Nodop, K. (1998). Per fluorocarbon background concentrations in Europe. *Atmosph. Environm.* **32**:4109-4122.
- Sutton, M.A., Milford, C., Nemitz, E., Theobald, M.R., Hill, P.W., Fowler, D., Schjoerring, J.K., Mattsson, M.E., Nielsen, K.H., Husted, S., Erisman, J.W., Otjes, R., Hensen, A., Mosquera, J., Cellier, P., Loubet, B., David, M., Genermont, S., Neftel, A., Blatter, A., Herrmann, B., Jones, S.K., Horvath, L., Führer, E.C., Mantzanas, L., Koukoura, Z., Gallaer, M., Williams, P., Flynn, M. en Riedo, M. 2001. Biosphere-atmosphere interactions of ammonia with grasslands: Experimental strategy and results from a new European initiative. *Plant and Soil* **228**, 131-145.
- UNEP DTIE (2003) Ozone depleting substances controlled under the Montreal protocol. Lijst gepubliceerd op [www.uneptie.org/ozonation/compliance/protocol/ods.html](http://www.uneptie.org/ozonation/compliance/protocol/ods.html)
- UNEP DTIE (2002) The Montreal protocol schedule and its evolution. Information Paper, October 2002.
- Van Harreveld, A. Ph. en Heeres, P. 1995. Quality control and optimisation of dynamic olfactometry using n-butanol as a standard reference odorant. *STAUB -Reinhaltung der Luft* **55**, pp 45-50, Springer Verlag.
- Van Ouwerkerk, E.N.J. 1993. Meetmethoden NH<sub>3</sub>-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij. *Rapport 16*, Agricultural Research Department, Wageningen.
- Werkgroep emissiefactoren. 1996. Meetprotocol voor geuremissies uit stallen. Verkrijgbaar via het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- Wever, A.C. en Hol, J.M.G. 1999. Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLIII: Twee traditionele huisvestingssystemen voor vleeseenden. *IMAG Rapport 99-07*.
- Wever, A.C. en Huis in 't Veld, J.W.H. 1999. Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLV: Vleesluikenstal met isolatie en ventilatie volgens het VEA-concept. *IMAG Rapport 99-09*.
- Wieringa, J. en Rijkoort, P.J. 1983. *Windklimaat van Nederland*. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), De Bilt.

## Samenvatting

Midden jaren tachtig werd vastgesteld, dat ammoniak een belangrijke rol speelde in de verzuring en eutrofiëring van natuurgebieden. De agrarische sector bleek de belangrijkste bron van ammoniak. Voor de kwantificering van emissies van ammoniak ten behoeve van emissie schatting, monitoring en beleid werden meetprotocollen opgesteld om de kwaliteit van de metingen te waarborgen. Sinds die tijd hebben de ontwikkelingen niet stil gestaan. De rol van de landbouw in de emissie van broeikasgassen werd duidelijk. Nieuwe stalsystemen werden ontwikkeld, die niet volgens de bestaande protocollen zijn te bemeten. Nieuwe meetmethoden zijn beschikbaar gekomen. Analyse van resultaten van metingen volgens bestaande protocollen heeft plaatsgevonden. Duidelijk werd, dat doorgaan volgens de bestaande protocollen leidt tot een beperkte hoeveelheid informatie van hoge kwaliteit, maar ook tegen hoge kosten. Dit rapport omschrijft de mogelijkheden om tegen lagere kosten een minder gedetailleerd beeld, maar wel meer representatief beeld van emissies van ammoniak en broeikasgassen te krijgen.

Wanneer nieuwe meetstrategieën of meetprotocollen ontworpen moeten worden is de eerste vraag wat het doel van de metingen is. Meetvragen en doelen zijn sterk afhankelijk van de gebruiker en dienen in overleg tussen opdrachtgever en meetinstantie duidelijk te worden gedefinieerd. In hoofdstuk 2 wordt duidelijk gemaakt, dat de grote variatie in meetvragen geen standaard meetstrategie kan opleveren. Vervolgens worden de bestaande protocollen kort beschreven en worden nieuwe mogelijkheden voor meetmethoden en meetstrategieën gepresenteerd. Ten slotte wordt de analyse van bestaande meetreeksen besproken. Belangrijke conclusie daaruit is, dat als gevolg van verminderde informatie door autocorrelatie met minder metingen een vrijwel even nauwkeurig beeld van emissies kan worden verkregen als met continue metingen tegen sterk gereduceerde kosten. Analyse van meetreeksen, waarbij niet alleen de variantie van de analyse methode en de variantie van de metingen in één stal is betrokken, maar ook is gekeken naar variantie tussen stallen geeft aan, dat het beter is meer stallen kort te bemeten dan een beperkt aantal stallen intensief. Dit vraagt om een duidelijke verandering van meetstrategie.

Hoofdstuk 3 fungeert min of meer als checklist voor punten die in het overleg tussen opdrachtgever en meetinstantie aan de orde moeten komen. Daarnaast moeten de meetlocatie en de metende instantie aan een aantal eisen en randvoorwaarden voldoen, die ook in dit hoofdstuk worden vermeld. De voor dit hoofdstuk opgestelde tabellen kunnen dienen als handleiding bij dit overleg.

Bij herziening van meetprotocollen of het formuleren van nieuwe meetstrategieën spelen naast de in hoofdstuk 3 genoemde eisen en randvoorwaarden ook een aantal nieuwe inzichten een rol. Deze worden behandeld in hoofdstuk 4. Nieuwe inzichten hebben betrekking op de aandacht voor variabiliteit in emissies vanuit stalsystemen, de vraag of in bepaalde seizoenen en jaarrond moet worden gemeten en het benodigde aantal metingen. De keuze voor spreiding van de metingen over meer stallen en minder metingen per stal kwam reeds in de conclusies naar aanleiding van hoofdstuk 2 aan bod. Autocorrelatie tussen metingen en variatie van de

weersomstandigheden over het jaar geven aanleiding tot kritische kanttekeningen bij de gebruikelijke methode om slechts in bepaalde seizoenen te meten. De beperking tot enkele seizoenen in de huidige protocollen zijn door beperkte variatie in weersomstandigheden en op grond van statistische overwegingen mogelijk de oorzaak van de geringe invloed die variabelen als temperatuur en ventilatiedebiet in de praktijk laten zien. Zowel het getoonde overzicht van maandelijkse variabiliteit in meteorologische variabelen als statistische overwegingen pleiten voor jaarrond metingen. Reductie van het aantal metingen ter verlaging van kosten roept de vraag op hoeveel metingen er dan gedaan zouden moeten worden. Hoewel de vraag niet afdoende beantwoord kan worden, wordt in hoofdstuk 4 op basis van een rudimentaire meteorologische klassenindeling wel een poging gedaan een antwoord op deze vraag te geven. Twaalf tot 14 metingen per stal lijken voldoende, doch toetsing van deze aantallen aan steekproeven uit bestaande meetreeksen en statistische analyse aan toekomstige meetreeksen is gewenst. Nieuwe protocollen zullen berusten op nieuwe methoden, nieuwe inzichten en worden mogelijk ook gebruikt voor nieuwe stalsystemen. Het is niet te verwachten, dat meteen een volledig betrouwbare en probleemloze methode en meetstrategie opgesteld kan worden. Het opstellen van een concept versie is een nuttige oefening in systematische aanpak. Die versie kan op basis van ervaring worden bijgesteld en verbeterd.

In hoofdstuk 5 is er voor gekozen om nieuwe protocollen niet algemeen te behandelen, maar een beperkt aantal voorbeelden diepgaand te behandelen. Als voorbeelden is gekozen voor een vleeskalverenstal met mechanische ventilatie, een melkveestal met natuurlijke ventilatie en een leghennen stal met uitloop. Iedere case start met een overzicht van de dynamiek van de emissies als één van de basisgegevens, waarop een meetstrategie gebaseerd moet zijn. Voor elk staltype worden vervolgens de beschikbare meetprincipes en bijbehorende meetmethoden naast elkaar gezet en kort beschreven. Voor elke methode worden voor- en nadelen gegeven. Onder meetstrategie wordt een keuze gedaan voor een beperkt aantal (de meest veelbelovende) technieken, waarmee een meetstrategie kan worden opgezet. De meetstrategie wordt verder gekarakteriseerd door de meetperiode en de meetduur. Bestaande protocollen (indien aanwezig voor dat type bron) worden altijd in de beschouwing meegenomen om deze met alternatieven te kunnen vergelijken. Dit maakt de eventuele meer- of minderwaarde, maar ook het verschil in kosten met alternatieve protocollen duidelijk. De traditionele methoden en een beperkt aantal alternatieven worden vervolgens op basis van inpasbaarheid, informatiedichtheid, nauwkeurigheid, kwetsbaarheid voor fraude en kosten met elkaar vergeleken. De totaalscore geeft aan welke meetstrategie als beste uit de bus komt.

De kosten van de verschillende meetstrategieën worden als verhoudingsgetallen gepresenteerd. Op die wijze kunnen doel en inzet van middelen gericht worden afgestemd en ontstaat tevens inzicht in de aspecten, die een sterke invloed hebben op de kosten. De kostenschatting wordt overigens sterk beïnvloed door het aantal te bemeten objecten en de vraag of naast ammoniak ook broeikasgassen gemeten moeten worden.

Niet alle meetstrategieën, die in hoofdstuk 5 worden genoemd kunnen al als volledig uitgetest en operationeel worden beschouwd. Er is ontwikkelwerk nodig. In hoofdstuk 6 wordt een plan van



aanpak geschetst om tot de ontwikkeling van nieuwe protocollen te komen. Voor vijf broncategorieën (dus vollediger dan het uitgewerkte aantal voorbeelden in hoofdstuk 5) worden per categorie de meest veelbelovende nieuwe meetmethoden kort beschreven. Wanneer geen of onvoldoende validatie van nieuwe meetmethoden heeft plaatsgevonden wordt dat aangegeven.

Ontwikkelingswerk op het gebied van nieuwe meetmethoden is gewenst voor:

- Gebruik van PFS fluxbuisjes in ventilatiekanalen
- Gebruik van denuder-canistermetingen voor gelijktijdige bemonstering van ammoniak en broeikasgassen
- Open pad TDL metingen in mechanisch en natuurlijk geventileerde stallen
- Vervanging van het milieuschadelijke SF<sub>6</sub> (broeikasgas en Ozonafbraak in stratosfeer) door een andere tracer
- Verbetering van passieve samplers
- Constructie van een goedkope snelle boxmethode t.b.v bepalingen in de uitloop van stallen
- Gebruik van een open pad TDL naast een scintillometer voor gebiedsgeïntegreerde fluxschattingen
- Constructie van een eddy-correlatie opstelling op basis van TDL voor het meten van methaanfluxen boven oppervlakken.

Meetprotocollen kunnen worden gewijzigd op basis van de keuze van nieuwe meetmethoden, op basis van kosten of op grond van meer inzicht in de werking van bestaande protocollen. Wanneer een bestaand protocol aanwezig is, is het parallel uitvoeren van de oude en de nieuwe meetstrategie gewenst om de consequenties van overgangen van oude naar nieuwe systemen te kunnen documenteren. Gegevens van de bestaande intensieve meetprotocollen lenen zich verder gaat voor variantie analyse ten behoeve van toekomstige meetprotocollen.

Met name protocollen voor metingen buiten stallen vergen naast ontwikkeling van meetmethoden ook ontwikkeling van een ondersteunende meetstrategie. Hier dient zo dicht mogelijk bij de bron te worden gemeten, doch buiten de obstakelstroming rond gebouwen. De ontwikkeling van deze meetstrategie zou op basis van gebruik van diverse soorten modellen of door snelle pluim metingen kunnen plaatsvinden. Tenslotte wordt kort samengevat aan welke factoren aandacht moet worden besteed bij de ontwikkeling van een nieuw meetprotocol.



## Bijlage 1 Meetperiodes per diercategorie t.b.v. meetprotocol (Beoordelingsrichtlijn, 1996)

DIERCATEGORIE	MEETPERIODE
Melk- en kalfkoeien	○ Volledige periode 1 december tot 1 april
Vrouwelijk jongvee tot ca 2 jaar	○ Zie melk- en kalfkoeien
Vleeskalveren	○ Opeenvolgende mestrondes (voorlopig: op basis van meetresultaten eventueel aanpassen)
Vleesstieren	○ 1 periode van 6 maand. Deze periode moet beginnen in de maand januari of de maand juli
Schapen	○ 1 periode van 3 maand gedurende de stalperiode
Melkgeiten	○ 1 periode van 12 maand (voorlopig: op basis van meetresultaten eventueel aanpassen)
Opfokzeugen	○ Zie vleesvarkens
Biggenopfok	○ 2 opfokperiodes. Één periode moet liggen tussen 1 juni en 1 september
Kraamzeugen	○ 2 kraamperiodes. Één periode moet liggen tussen 1 juni en 1 september
Guste/dragende zeugen	○ 2 periodes van elk 1 maand. Één maand moet liggen tussen 1 juni en 1 september
Vleesvarkens	○ 2 opeenvolgende mestrondes. De oplegdatum van één van de beide rondes moet in het 2 <sup>de</sup> kwartaal liggen
Opfokhennen	○ 2 opeenvolgende opfokperiodes. De oplegdatum van één van de beide rondes moet in het 2 <sup>de</sup> kwartaal liggen
Leghennen	○ 2 periodes van elk 2 maanden. Één periode moet liggen tussen 1 juni en 1 september, de andere tussen 1 oktober en 1 januari
Ouderdieren van vleesrassen	○ Zie opfokhennen (ouderdieren in opfok)
	○ Zie leghennen (ouderdieren)
	○ 2 mestperiodes. Één periode moet liggen tussen 1 juni en 1 september, de andere tussen 1 oktober en 1 januari
Vleeskuikens	○ 2 opeenvolgende mestrondes. De oplegdatum van één van de beide rondes moet in het 2 <sup>de</sup> kwartaal liggen
	○ 2 mestperiodes. Één periode moet liggen tussen 1 juni en 1 september, de andere tussen 1 oktober en 1 januari
Vleeskalkoenen	○ 1 periode van 12 maand (voorlopig: op basis van meetresultaten eventueel aanpassen)
Vleeseenden	○ 2 perioden van elk 2 maanden. Één periode moet liggen tussen 1 juni en 1 september
Pelsdieren	
Konijnen	

## Bijlage 2 Meetmethoden voor het meten van ammoniak-, geur- en broeikasgasemissies

### 2.1 Mechanisch geventileerde stallen

Component	Doel	Meetmethode	Meettechniek	Referenties	
Ammoniak	A	Overzicht meetmethode / meetprotocollen	-	-	Van Ouwkerk (1993) Bleijenberg en Ploegaert (1994) Mosquera <i>et al.</i> (2002b) Mosquera (2003)
	B	Oriënterende rapporten / wetenschappelijke publicaties	-	-	Mosquera <i>et al.</i> (2002a) Scholtens <i>et al.</i> (2003a, b)
	C	Toepassing meetmethode	Ammoniakconcentratie + debietmetingen	Chemiluminescence (NO <sub>x</sub> -monitor en convertor) + meetventilator	Bakker <i>et al.</i> (2003) Beurskens <i>et al.</i> (2002a, 2002b) Groenestein <i>et al.</i> (2001) Hol en Groot Koerkamp (1999) Hol <i>et al.</i> (1999; 2001a, 2001b, 2001c) Monteny en Hol (2001) Scheer <i>et al.</i> (2001, 2002a, 2002b, 2003) Wever en Hol (1999) Wever en Huis in 't Veld (1999)
Broeikasgas	A	Overzicht meetmethode / meetprotocollen	Ammoniakemissies	Fluxbuisjes	Monteny <i>et al.</i> (1999) Mosquera <i>et al.</i> (2002a)
	B	Oriënterende rapporten / wetenschappelijke publicaties	-	-	-
C	Toepassing meetmethode	Interne tracerogas ratiomethode	Luchtspuit of canister met analyse op GC + GC-ECD op locatie (tracerogas, SF <sub>6</sub> )	Huis in 't Veld en Monteny (2003)	

## 2.1 Mechanisch geventileerde stallen (vervolg)

Component	Doel	Meetmethode	Meettechniek	Referenties	
Geur	A	Overzicht meetmethode / meetprotocollen	-	-	NNI (1995) Werkgroep emissiefactoren (1996) Ogink en Mol (2002) Beoordelingsrichtlijn (1996)
	B	Oriënterende rapporten / wetenschappelijke publicaties	-	-	Ogink en Groot Koerkamp(2001) Ogink en Klarenbeek (1997)
	C	Toepassing meetmethode	Geurconcentratie + debietmetingen	Longmethode met analyse in geurlaboratorium + meetventilator	Bakker <i>et al.</i> (2003) Beurskens <i>et al.</i> (2002a, 2002b) Hol <i>et al.</i> (2000, 2001a, 2001b, 2001c) Monteny en Hol (2001) Ogink en Lens (2001) Scheer <i>et al.</i> (2001, 2002a, 2002b, 2003)

## 2.2 Natuurlijk geventileerde strallen (kleine inlaatopeningen)

Component	Doel	Meetmethode	Meettechniek	Referenties
Ammoniak	A Overzicht meetmethode / meetprotocollen	-	-	Mosquera <i>et al.</i> (2002b) Mosquera <i>et al.</i> (2003)
	B Oriënterende rapporten / wetenschappelijke publicaties	-	-	Scholrens <i>et al.</i> (2003a)
	C Toepassing meetmethode	Interne tracerogas ratiomethode	Chemiluminescence (NO <sub>x</sub> -monitor en convertor) + tracerogas (SF <sub>6</sub> ) meting op GC-ECD op locatie	Huis in 't Veld en Monteny (2003) Huis in 't Veld en Groot Koerkamp (2001) Huis in 't Veld <i>et al.</i> (2001, 2002) Monteny <i>et al.</i> (2002)
Broeikasgas	A Overzicht meetmethode / meetprotocollen	-	-	-
	B Oriënterende rapporten / wetenschappelijke publicaties	-	-	-
	C Toepassing meetmethode	Interne tracerogas ratiomethode	Luchtspuit of canister met analyse op GC + GC-ECD op locatie (tracerogas, SF <sub>6</sub> )	Huis in 't Veld en Monteny (2003)

### 2.3 Natuurlijk geventileerde stallen (grote inlaatopeningen / open front)

Component	Doel	Meetmethode	Meettechniek	Referenties	
Ammoniak	A	Overzicht meetmethode / meetprotocollen	-	-	Mosquera <i>et al.</i> (2002b)
	B	Oriënterende rapporten / wetenschappelijke publicaties	-	-	-
	C	Toepassing meetmethode	-	-	-

### 2.4 Stallen met uitloop

Component	Doel	Meetmethode	Meettechniek	Referenties	
Ammoniak	A	Overzicht meetmethode / meetprotocollen	-	-	Mosquera <i>et al.</i> (2002b)
	B	Oriënterende rapporten / wetenschappelijke publicaties	-	-	-
	C	Toepassing meetmethode	-	-	-

## 2.5 Open velden

Component	Doel	Meetmethode	Meettechniek	Referenties
Ammoniak	A Overzicht meetmethode / meetprotocollen	-	-	Hofschröder (2002) Mosquera <i>et al.</i> (2002b) Mosquera <i>et al.</i> (2002a)
	B Oriënterende rapporten /wetenschappelijke publicaties	-	-	
	C Toepassing meetmethode	Massabalansmethode met proefvelden	Actief ammoniakvangsysteem (natchemisch) + windprofiel (anemometers)	Hol <i>et al.</i> (2003) Huijsmans <i>et al.</i> (1999, 2000a, 2000b, 2001, 2002, 2003) Steenvoorden <i>et al.</i> (1999) Mosquera <i>et al.</i> (2000, 2001, 2002a) Sutton <i>et al.</i> (2001)
Broeikasgas	A Overzicht meetmethode / meetprotocollen	Fluxraammethode volledig perceel	Fluxbuisjes (PFS) of ammoniakvangsysteem (AMANDA, denuders, Willems Badges) + windprofiel (anemometers)	Monteny <i>et al.</i> (1999) Mosquera <i>et al.</i> (2002a)
	B Oriënterende rapporten /wetenschappelijke publicaties	-	-	
	C Toepassing meetmethode	-	-	



### Bijlage 3 Overzicht van meteorologische omgevingsfactoren voor midden Nederland.

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
$\bar{T}$	1.5	2.0	5.1	8.5	12.5	15.5	17.4	17.0	14.5	10.0	5.8	2.8
$\sigma_T$	2.8	3.2	1.8	1.5	1.2	1.1	1.0	1.2	1.3	1.2	1.3	2.1
$\Delta T_{\text{dag}}$	5.4	6.0	8.0	9.5	10.5	10.8	10.0	10.0	9.5	7.5	5.5	4.5
RV% (14h)	83	78	65	61	60	60	65	65	68	75	83	85
$\bar{u}$ (m s <sup>-1</sup> )*	4.3	4.3	4.0	4.0	3.8	3.4	3.2	3.4	3.3	3.5	3.8	4.5
0<u<1.5	26.5	26.5	28.2	28.2	29.4	32.2	33.8	32.2	33.0	31.5	29.4	25.5
1.5<u<4	29.6	29.6	30.6	30.6	31.2	32.4	33.0	32.4	32.7	32.1	31.2	29.0
4<u<10	31.1	31.1	30.3	30.3	29.6	27.8	26.7	27.8	27.3	28.3	29.6	31.5
U>10	12.6	12.6	10.8	10.8	9.6	7.3	6.2	7.3	6.7	7.9	9.6	13.8

\* Windsnelheidsverdeling gebaseerd op de Weibull verdeling volgens Wieringa en Rijkoort (1983).



## Bijlage 4 Overwegingen ten aanzien van de keuze van een nieuw tracergas als vervanging voor SF<sub>6</sub>.

### Waarom een ander tracergas

Er is noodzaak om tot de keuze van nieuwe tracers te komen. SF<sub>6</sub> is als broeikasgas en stof die de ozonlaag in de stratosfeer afbreekt niet langer te handhaven. De stof is in Denemarken al verboden (mededeling Willem Asman) en dat zal hier op onbekende termijn ook gebeuren. Tijdige vervanging geeft hier nog de mogelijkheid tot vergelijkende proeven met de nieuwe tracer en SF<sub>6</sub>. Het beleid in Nederland is gericht op vervanging van SF<sub>6</sub> in elektrische schakelsystemen (Flippi, 2003) en wordt verder afhankelijk gesteld van de ontwikkeling van beleid in andere landen. Het einde van het gebruik van SF<sub>6</sub> is daarmee niet duidelijk.

### Eigenschappen waaraan een tracer moet voldoen;

1. Niet toxisch voor mens, plant en dier
2. niet corrosief
3. niet brandbaar of explosief
4. gasvormig in breed temperatuurbereik
5. bij voorkeur vloeibaar onder druk bij kamertemperatuur (veel gas in kleine cilinder)
6. chemisch inert en thermisch stabiel
7. niet oplosbaar in water
8. niet oppervlakte actief
9. lage detectiegrens (veel Cl of F atomen tbv ECD) (minimale bronsterkte)
10. Groot lineair bereik op de detector
11. Commercieel beschikbaar gas tegen lage prijs
12. uniforme en lage achtergrond (geen lokale bronnen)

### Welke alternatieven zijn er voor SF<sub>6</sub>

De ASTM standaard E 741 (2000) (uit Mc Williams, 2002) vermeldt als tracers; H<sub>2</sub>, He, CO, CO<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>, N<sub>2</sub>O, ethaan, methaan en HFK's. Van deze tracers vallen H<sub>2</sub> (risico), He (relatief hoge achtergrond), CO<sub>2</sub> (hoge achtergrond en een te bemeten gas) en methaan (hoge achtergrond en een te bemeten gas) af. CO is ook minder geschikt door de hoge achtergrond, variatie in achtergrondconcentratie (afbraak product van methaan fotolyse), relatieve hoge detectiegrens en een groot aantal bronnen (o.a. de bodem). Voor specifieke toepassingen is CO wel bruikbaar waarbij de veiligheid in acht moet worden genomen. Voor lachgas (N<sub>2</sub>O) geldt hetzelfde als voor CO. Ook hier hebben we te maken met een achtergrondconcentratie die door lokale emissies uit de bodem variabel is in de tijd. N<sub>2</sub>O is bovendien dikwijls een verbinding, die in verband met het broeikas effect juist willen meten. Ook hier kan N<sub>2</sub>O worden gebruikt voor specifieke toepassingen, zoals als tracer bij TDLAS methaan metingen, omdat de absorptiebanden van CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O dicht bij elkaar liggen en in één gang kunnen worden gemeten. Blijven over;

1. ethaan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)
2. HFK's

3. Sterk fluorhoudende benzeenderivaten (Perfluorocarbons) namelijk perfluoromethylcyclohexaan ( $C_7F_{14}$ , PMCH), perfluoromethylcyclopentaan ( $C_6F_{12}$ , PMCP) en perfluorodimethylcyclohexane ( $C_8F_{16}$ , PDCH).

De voorgestelde gassen voldoen alle in meerdere of mindere mate aan bovengenoemde eisen. Slechts de afwijkingen worden hieronder per tracer(groep) genoemd.

#### Ethaan.

Analyse van ethaan (GC-FID) is geen probleem en kan in één moeite door worden uitgevoerd met  $CH_4$  analyse.

3. Het gas is brandbaar en explosief, doch de concentraties kunnen een factor  $10^3$  onder de explosiegrens blijven. Wel dient voor de veiligheid met kleine cilinders te worden gewerkt (maximaal 10 liter). (Factor 10 onder LEL (3%) voor stal van  $500\text{ m}^3$  bij volledige menging en totale eenmalige emissie (breuk van cilinderkop e.d.)).

5. Alleen verkrijgbaar als gas onder druk (200 Bar), dus beperkte inhoud cilinder en frequent wisselen.

6. Chemisch en thermisch niet stabiel, doch geen problemen op de schaal van stallen (wel problemen bij experimenten met verspreiding in de buitenlucht).

9. De detectiegrens is niet echt laag (omstreeks ppb niveau met FID)

12. Achtergrond 1ppb (N. Hemisph.), 0.5 ppb (Z. Hemisph.). Echter, mensen ademen ethaan uit (40-50 ppb in uitademingslucht en meer bij bepaalde ziekten. Hoe is dat met dieren? Mogelijk ook emissies uit de bodem.

#### HFK's

De HFK's kunnen brandbaar zijn, toxisch zijn en als broeikasgas met lange levensduur fungeren. Grof gesteld zijn de gassen brandbaar ( $LEL > 1\%$ ) als het aantal H atomen groter is dan de som van het aantal halogeen atomen. Dus hoe minder H, hoe beter. Even grof gesteld moet het aantal Cl atomen even groot of minder zijn dan het aantal F atomen en niet meer dan de helft dan de som van het aantal H+F atomen, of bij afwezigheid van F meer dan 90% van het totaal (H+F) uitmaken wil de stof niet toxisch zijn. Dus bij voorkeur veel F en weinig Cl. De atmosferische verblijftijd van de HFK's is 2.5-36 jaar (CFK's 50-1700 jaar).

De Global Warming Potential (GWP)(broeikasewffect t.o.v dezelfde hoeveelheid  $CO_2$  ( $\text{mol}/\text{m}^3$ ) voor de HFK's beweegt zich tussen 93 en 12,100 (CFK's 4000-11,700) en  $SF_6 > 10.000$  !. De Ozone Depleting Potential (ODP) (ozon afbrekend vermogen tov CFC 11 (trichlorofluoromethaan) is voor HFK's tussen 0.001 en 0.1, voor CFK's tussen 0.6 en 1.0 en voor broom verbindingen zelfs nog hoger.

**Wat is de beste keuze** (in elk geval niet brandbaar en niet toxisch, korte levensduur en laag GWP, laag ODP):

Stof	Chem. formule	Chem. naam	Levensduur (j)	GWP bij 100 jaar	ODP bij 100 jaar
HCFC-124	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> HCl	chloortetrafluorethaan	5.9	480	0.02
HCFC-225ca	C <sub>3</sub> F <sub>5</sub> HCl <sub>2</sub>	dichloorpentafluorpropana	2.5	170	0.025
HCFC-225cb	C <sub>3</sub> F <sub>5</sub> HCl <sub>2</sub>	dichloorpentafluorpropana	6.6	530	0.033
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	difluormethaan	6	580	? waarschijnlijk <0.001

Op basis van VN informatie (UNEP 2002 a en b) dienen de eerste drie stoffen per **2040** te worden uitgebannen. De laatste stof komt in de stukken niet voor.

Analyse mogelijkheden moeten nog nader bekeken worden, doch zijn beschreven voor chloorkoolwaterstoffen en zullen ook voor HFK's beschikbaar zijn.

Score op de lijst van eisen:

9. Over de detectiegrenzen zijn (nog) geen gegevens beschikbaar.
10. Evenmin bekend
12. Achtergrond waarschijnlijk ppt niveau, doch lokale bronnen denkbaar (koelinstallaties boerderij).

### **Perfluorocarbons.**

Hales (1998) geeft een overzicht van "standaard" tracers; perfluoromethylcyclohexaan (PMCH), Ortho- en meta-perfluorodimethylcyclohexaan (o,mPDCH), perfluoromethylcyclopentaan (PMCP), perfluorotrimethylcyclohexane (PTCH). PMCH, PDCH en PDCHP zijn voor de ETEX dispersie studie (van Dop *et al*,1998)(en enkele andere studies (Mohave)(Green en Tombach, 2000), en ook in stedelijk gebied(Birmingham)(Britter *et al*,2001) gebruikt. Hales geeft ook nog een aantal alternatieve tracers met in essentie langere alifatische ketens met C en F aan de cyclohexaan ring. Door het grote aantal fluoratomen is de detectiegrens laag (orde van 0.0001 ppt!). Achtergrondconcentraties bewegen zich tussen 0.005 en 0.01 ppt. (GC-ECD). De bemonsteringsprocedure en analyse hebben zich bewezen en rapporten zijn opvraagbaar. Er zijn zowel actieve als passieve bemonsteringmethoden toegepast. Als adsorbtiemiddel is Carboxen-569 toegepast voor de actieve methoden en Amborsorb voor de passieve methoden. Daarnaast is bemonstering in canisters mogelijk.

Er zijn geen gegevens beschikbaar over broeikaswerking en ook niet over afbraak van de ozonlaag. De stabiliteit in de troposfeer duidt er echter op, dat afbraak vooral in de stratosfeer zal

plaatsvinden en er via de fluoratomen invloed zal zijn op de ozonlaag. Er zal dus sprake zijn van een zekere ODP.

Score op de lijst van eisen:

1. Alleen van perfluoromethylcyclohexaan zijn toxicologische gegevens gevonden. Deze stof is niet toxisch.

7. De stoffen zijn weinig oplosbaar bij percolatie door een water-zand kolom (tot max 5% verlies. De polariteit van het molecuul is vrijwel nul, zodat geringe oplosbaarheid in water mag worden verwacht. ( $\text{SF}_6$  is overigens ook een heel klein beetje oplosbaar in water).

9. Concentraties tot 0.1 ppq (parts per quadrillion  $10^{-15}$ ) zijn haalbaar op de GC-MS. Het rapport, waarin de techniek beschreven staat dient te worden opgevraagd (geen open literatuur). Met GC-ECD is de detectiegrens wellicht wat hoger, doch gezien ervaringen op de WU met  $\text{SF}_6$  moet 1 ppt haalbaar zijn.

11. perfluorodimethylcyclobutaan (PDCB) kan volgens (Hales,1998) bij Dupont worden verkregen voor \$50,- per kg, voor de andere stoffen worden in 1998 prijzen van omstreeks \$ 400,- per kg aangegeven bij een niet genoemde leverancier in Engeland.

### **De keuze**

Hierbij dient onderscheid te worden gemaakt tussen een keuze voor de korte termijn en één voor de lange termijn.

Op korte termijn een keuze voor een tweede tracer nodig naast  $\text{SF}_6$  ten behoeve van emissie metingen in een stal met uitloop. De snelste en goedkoopste optie is na te gaan of de ethaan productie zodanig is, dat hiervan storingen voor het gebruik als tracer worden verwacht. Als de concentratie ethaan in de stal tengevolge van de aanwezigheid van mest en dieren lager is dan 1 ppb zou ethaan als tracer kunnen worden gebruikt.

Voor de lange termijn komen zowel de HFC's HCFC 225ca als HFC-32 in aanmerking met een voorkeur voor HFC-32 als meest te gebruiken tracer (als er slechts aan één tracer behoefte is). De eerste stof dient in 2040 uit de productie te worden genomen, de tweede kent geen limiet. Ook de PFC's kennen geen limiet, hoewel dat wellicht te wijten is aan hun exotisch karakter (weinig industriële toepassingen). Een keuze tussen deze twee groepen zal vooral afhangen van de kosten in relatie tot noodzakelijke bronsterkte (detectiegrens) en de complexiteit van de analyse (implementatietijd en tijdsduur per analyse). Voordeel van een zeer lage detectiegrens is, dat slecht weinig tracergas hoeft te worden geëmitteerd. Er zou in overleg met een leverancier van permeatiebuisjes (bijv. KinTek) kunnen worden nagegaan of permeatiebuisjes met de gewenste tracer leverbaar zijn en kunnen worden berekend hoeveel buisjes in een stal dienen te worden geplaatst om de aanleg van een emissieleiding overbodig te maken. Voorgesteld wordt om nader informatie over analyse in te winnen en toepassingstechnieken te exploreren (permeatiedosering, actieve monsterneming, passieve monsterneming) en middelen te reserveren om de analyse te ontwikkelen.

## **Bijlage 5 Ontwikkeling van een meetstrategie voor massabalansmetingen**

Voor zeer open stallen vormen massabalans en pluimmetingen de enige mogelijkheid tot het bepalen van de emissie. Een probleem bij de toepassing van de massabalansmeting rond bedrijven vormt de vraag waar meetpunten wel of niet opgesteld kunnen worden. Deze vraag is te benaderen via een klasse-indeling gekoppeld aan metingen aan obstakelstromingen in een grenslaag windtunnel, stromingsmodellen voor obstakels of door visualisatie van de pluim in de praktijk.

### ***Klasse-indeling gekoppeld aan metingen aan obstakelstromingen in een grenslaag windtunnel***

Het aantal geometriën van agrarische bedrijven inclusief beschuttende houtwallen e.d. zal zeer groot zijn. Voor het ontwikkelen van een meetstrategie buiten deze bedrijven dient er te worden gekeken of agrarische bedrijven zich in een beperkt aantal kenmerkende geometriën laten indelen. Deze inventarisatie is waarschijnlijk mogelijk op basis van de gedetailleerde topografische kaarten (1:10.000) of luchtfoto's. Voor de ken-geometriën van elke klasse kan vervolgens in een grenslaag windtunnel worden bepaald tot hoever zich verstoringen van het stromingspatroon uitstrekken (en waarbuiten dus wel met de massabalans mag worden gemeten). Deze benadering heeft het voordeel, dat na vaststelling van emissiefactoren de omgekeerde weg kan worden bewandeld. Op basis van emissie en geometrieklasse kunnen de concentraties in de omgeving worden geschat analoog aan de procedure in het CAR model.

### ***Stromingsmodellen voor obstakels***

Stromingsmodellen (CFD) richtten zich in het verleden vooral op pijpstromingen e.d. met beperkingen in turbulentie intensiteit en wervelgrootte. De toepasbaarheid op de buitenlucht kan worden geëxploreerd. Als toepassing in de buitenlucht mogelijk is kan op basis van stromingspatronen rond de klassemodellen worden gekeken of zich een zone buiten de staande wervels, maar met voldoende verhoging van de concentraties tengevolge van stalemissies laat aanwijzen, waarbinnen massabalansmetingen kunnen plaatsvinden.

### ***Visualiseren van een pluim***

Het visualiseren van een pluim in een bestaande situatie heeft het voordeel, dat geen aannamen en klassen behoeven te worden gebruikt en een beeld wordt verkregen van de werkelijke situatie. Voorwaarde is dat we beschikken over een methode om door de pluim bewegend over momentane concentratiewaarden te verkrijgen. We maken daarbij gebruik van de emissies van de dieren. De dieren (en stal met mest) emitteren CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> en waterdamp. In de stal is mogelijk tengevolge van de verwarming wat CO en NO<sub>x</sub> aanwezig. Een eerste mogelijkheid is het gebruik van snelle meting van CO<sub>2</sub>. Hiertoe is de Licor 7500 sensor te gebruiken. Door met de sensor door de pluim te rijden wordt een horizontaal concentratieprofiel verkregen. Door de hoge natuurlijke achtergrond gaat de verhoogde concentraties van de pluim (tienden van ppm's tot enkele ppm's) al snel ten onder in de achtergrond. Een tweede mogelijkheid is het gebruik van de snelle NH<sub>3</sub> monitor voor dit doel. Het tegelijk bedrijven van een normale Amanda is niet

nodig, omdat het ons alleen om de vorm van de pluim te doen is ter bepaling van de meetstrategie en niet om het absolute niveau van de concentraties. Een derde mogelijkheid maakt gebruik van de stofemissies van stallen. Met name voor pluimveestallen zijn deze emissies hoog. Door met een optische deeltjes detector door de pluim te rijden kan een indruk worden verkregen van de vorm en omvang van de pluim. De vorm van de pluim in relatie tot de geometrie bepaalt weer waar wel en waar niet gemeten kan worden.