



Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties

in bedrijfsmonitoring van NH_3 en CH_4 uit veehouderijen

Toepassing bij sensorsystemen voor vaststellen van stalemissies

J. Vonk, D. van Dinther, J. Mosquera en N.W.M. Ogink

Rapport 1285



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoring van NH₃ en CH₄ uit veehouderijen

Toepassing bij sensorsystemen voor vaststellen van stalemissies

J. Vonk^{1, 2}, D. van Dinther³, J. Mosquera¹ en N.W.M. Ogink¹

¹ Wageningen Livestock Research (WLR)

² Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)

³ Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO)

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Mest, milieu en klimaat' (projectnummer BO-43-012.02-045).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, januari 2021

Rapport 1285

Vonk, J., D. van Dinther, J. Mosquera en N.W.M. Ogink, 2021. *Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoring van NH₃ en CH₄ uit veehouderijen. Toepassing bij sensorsystemen voor vaststellen van stalemissies*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1285.

Samenvatting

Om van middel- naar doelvoorschriften te kunnen komen zijn bedrijfsmonitoren voor het vaststellen van stalemissies noodzakelijk. Onderdeel van bedrijfsmonitoringsystemen zijn meetinstrumenten voor gasconcentraties van de emissiecomponenten. Toepassingsgebied, lab- en veldtests, installatie en onderhoud van de meetinstrumenten worden besproken en aanbevelingen bij de verdere ontwikkeling gedaan.

Summary

To get from measure to result oriented prescriptions for the determination of emissions from animal houses farm monitor systems are required. Measurement devices for determination of concentrations of emission components are part of such a system. Application area, lab and field trials, installation and maintenance of the measurement devices are described and recommendations for further development made.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/536495> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2021 Wageningen Livestock Research

Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wur.nl/livestock-research. Wageningen Livestock Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Wageningen Livestock Research Rapport 1285.

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Beschrijving van het toepassingsgebied	11
3 Laboratoriumtests	13
3.1 Initiële labtest	13
3.1.1 Responstijd	13
3.1.2 Kalibratie	13
3.1.3 Herhaalbaarheid, instrument-herhaalbaarheid en detectielimiet	14
3.2 Aanvullende labtesten	14
3.2.1 Drukeffect	14
3.2.2 Temperatuur- of vochtgevoeligheid, stoorcomponenten	15
3.3 Uitgebreide meetonzekerheid	16
4 Veldtest – validatie onder praktijkomstandigheden	17
4.1 Opzet en randvoorwaarden voor uitvoering	17
4.2 Beoordeling van gelijkwaardigheid methodes en inzetbaarheid voor bedrijfsmonitoring	18
5 Installatie en onderhoud	20
5.1 Kalibratie vooraf	20
5.2 Installatie/oplevering	20
5.3 Gebruik	20
5.4 Onderhoud	21
6 Conclusies en aanbevelingen	22
Literatuur	23
Bijlage 1 Rekenvoorbeeld laboratoriumtesten	24
Bijlage 2 Rekenvoorbeeld beoordeling gelijkwaardigheid meetmethode	28
Bijlage 3 Validatieprocedure alternatieve NH₃-concentratie meetmethoden	35

Woord vooraf

Het reduceren van geur-, ammoniak-, broeikasgas- (methaan/lachgas) en stofemissies uit stallen is een belangrijk onderwerp in de verduurzaming van de veehouderij. Daarbij wordt het direct kunnen monitoren van de emissies als een grote stimulans voor innovatie gezien. Immers als de uitstoot met voldoende nauwkeurigheid in beeld gebracht kan worden, is het niet alleen mogelijk het proces te bewaken maar ook te optimaliseren door bijvoorbeeld managementmaatregelen. Een belangrijke voorwaarde voor effectieve bedrijfsmonitoring van emissies is de inzet van voldoende nauwkeurige en robuuste meetinstrumenten voor gasconcentraties. Uiteindelijk zal de beschikbaarheid van effectieve bedrijfsmonitoringssystemen een overgang van middel- naar doelvoorschriften in de regulering van stalemissies mogelijk maken, wat door alle belanghebbenden als zeer wenselijk wordt ervaren.

In dit rapport wordt een opzet voor een ontwikkel- en validatieprotocol gericht op meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoringssystemen gegeven. Dit pionierswerk is gefinancierd door de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). Het werd uitgevoerd door Wageningen Livestock Research (WLR), in nauwe samenwerking met de Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO) en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Projectplan en rapport werden van opbouwend commentaar voorzien door een begeleidingscommissie bestaande uit vakdeskundigen.

Wij willen alle betrokkenen van harte bedanken voor hun bijdrage aan dit project.

Jan Vonk
Daniëlle van Dinther
Julio Mosquera
Nico Ogink

Samenvatting

Doelvoorschriften-regelgeving, waarbij veehouders aantonen dat hun stalemissies onder een zeker niveau blijven wordt als aantrekkelijk alternatief gezien voor de huidige middelvoorschriften met algemene emissiefactoren. Hiertoe zal beschikt moeten kunnen worden over bedrijfsmonitoren die voldoende betrouwbaar zijn en gevalideerd bij de omstandigheden waarin ze worden gebruikt. Hoewel de principes ook toegepast kunnen worden voor andere doelstellingen, zoals het bewaken van de luchtkwaliteit in de stal richt het protocol zich hoofdzakelijk op het vaststellen van emissies. Dit rapport beschrijft een eerste opzet voor een ontwikkel- en validatieprotocol, bedoeld om tot een procedure te komen voor het beoordelen van deze bedrijfsmonitoren.

Het toepassingsgebied waarin een bedrijfsmonitor kan worden ingezet, wordt in het ontwikkel- en validatieprotocol gedefinieerd als het 95%-gegevensbereik. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar de diercategorieën rundvee, varkens en pluimvee, omdat de concentraties maar ook de verdere samenstelling van de stallucht en omstandigheden sterk kunnen verschillen. Er wordt een overzicht gepresenteerd van statistische kenmerken van data verzameld in emissieonderzoek van Wageningen Livestock Research tussen 2004 en 2016 ter referentie.

Sensoren die potentieel geschikt zijn voor toepassing in een bedrijfsmonitor kunnen in het lab verder getest worden. Dit ontwikkelprotocol geeft een handreiking voor het vaststellen van de belangrijkste prestatiekenmerken, te weten responstijd, kalibratie, (instrument-)herhaalbaarheid en detectielimiet. Daarnaast worden mogelijke interferenties door omgevingsomstandigheden zoals luchtdruk, temperatuur of relatieve vochtigheid en stoorcomponenten besproken.

Uiteindelijk zal de goede werking van een bedrijfsmonitor echter onder praktijkomstandigheden gevalideerd dienen te zijn en daartoe wordt de opzet en beoordeling van een veldtest uiteengezet. Deze volgt in grote lijnen de opzet zoals deze bij proefstallen voor het vaststellen van een emissiefactor gevolgd wordt. Hierdoor kunnen seizoeneffecten als gevolg van wisselingen in temperatuur, vocht en luchtsamenstelling maar ook drift en duurzaamheid van de bedrijfsmonitor onderzocht worden, waarbij gebruik gemaakt kan worden van om andere redenen reeds uit te voeren metingen.

Ook na de validatie zal de bedrijfsmonitor goed moeten blijven functioneren, hiervoor zijn enkele aandachtspunten geformuleerd. Momenteel bevinden bedrijfsmonitoren zich nog in de ontwerp- en/of pilotfase, het rapport sluit daarom af met enkele aanbevelingen waarmee tevens het ontwikkel- en validatieprotocol zelf in de toekomst verder uitgediept kan gaan worden.

1 Inleiding

Binnen de veehouderij wordt gestreefd naar het ontwikkelen van bedrijfssystemen en managementmaatregelen, die de uitstoot van geur, ammoniak, broeikasgassen en (fijn-)stof drastisch terugbrengen. De huidige regulering voor stalemissies is gebaseerd op specifiek omschreven emissiearme bedrijfssystemen met vastgestelde algemene emissiefactoren in verschillende regelgevingen. Een aantrekkelijk alternatief voor deze zogenoemde middelvoorschrift-regelgeving, is een opzet via doelvoorschriften waarbinnen emissiearme technieken flexibeler kunnen worden ingezet en snellere innovatie met minder kosten mogelijk is.

Voorwaarde voor deze aanpak is dat een betrouwbaar systeem van directe emissieregistratie via monitoring op het bedrijf aantoonbaar of doelvoorschriften worden nageleefd dan wel behaald. Hiervoor dienen bedrijven te beschikken over een eigen bedrijfsmonitor die continu de emissies registreert. Het is hierbij belangrijk dat prestaties van bedrijfsmonitoren vooraf goed in beeld worden gebracht. De meetnauwkeurigheid van ingebouwde sensoren¹ voor concentratiemetingen dient voldoende groot te zijn, en op orde te worden gehouden door deugdelijk onderhoud en tijdige signalering van afwijkingen door de bedrijfsmonitor zelf.

Om hierover duidelijkheid te kunnen geven is het nodig dat prestatiekenmerken van sensoren in bedrijfsmonitoren worden vastgesteld in het laboratorium en/of de meetnauwkeurigheid onder praktijkomstandigheden wordt gevalideerd met erkende referentiesystemen. Tegelijk is echter duidelijk dat bedrijfsmonitoren nog in ontwikkeling zijn of zich in de pilotfase bevinden, en er daarom ook weinig tot geen ervaring is met de beoordeling ervan.

Doelstelling en afbakening

Het doel van deze rapportage is te voorzien in een opzet voor een ontwikkel- en validatieprotocol, te gebruiken voor sensoren ingezet bij de bedrijfsmonitoring van emissies uit de veehouderij. De afgelopen jaren zijn voor diverse gasvormige componenten sensoren beschikbaar gekomen die potentieel geschikt zijn voor bedrijfsmonitoring (Ellen et al., 2018). Met het te ontwikkelen protocol kunnen deze beoordeeld worden op basis van laboratoriumtesten, en onder praktijkomstandigheden gevalideerd door vergelijking met referentiemethodes. Aan de hand daarvan kunnen door de overheid of het bevoegd gezag minimumeisen voor gebruik in bedrijfsmonitoring gesteld gaan worden.

Deze versie beperkt zich tot sensoren die geschikt zijn voor het meten van de volgende gassen: ammoniak (NH_3), koolstofdioxide (CO_2) en methaan (CH_4). Reden om CO_2 in beschouwing te nemen, is de rol hiervan in het bepalen van het ventilatiedebiet in natuurlijk geventileerde stallen. De toegepaste benadering kan ook naar andere gassen uitgebreid worden. Voor het testen en valideren van sensoren voor bedrijfsmonitoring van fijnstof is echter een gewijzigde opzet nodig omdat voor stof de meetprincipes, de factoren die van invloed zijn op de meetnauwkeurigheid en de wijze van kalibratie wezenlijk afwijken van die voor gasconcentraties. Tevens zijn er voor zover nu bekend, nog geen stofsensoren beschikbaar die geschikt zijn voor bedrijfsmonitoring in stallen (op het gebied van nauwkeurigheid en/of concentratiebereik).

De beperking tot het beoordelen van de prestatie van sensoren voor gasconcentraties houdt in dat niet wordt ingegaan op de werkwijze die gevolgd moet worden voor een representatieve bemonstering van stallucht voor monitoring van emissies in natuurlijk en mechanisch geventileerde stallen. Niet-representatieve bemonstering draagt bij aan de uiteindelijke meetonzekerheid van emissies. Tevens wordt niet ingegaan op de vaststelling van het ventilatiedebiet in mechanisch geventileerde stallen, en de berekeningswijze van stalemissies uit de gemeten concentraties. Hiervoor wordt verwezen naar het Nederlandse meetprotocol voor emissiefactoren van ammoniak (Ogink et al., 2017) en het VERA-protocol voor huisvestingssystemen (VERA, 2018).

In dit protocol wordt de inzet van sensoren beoordeeld vanuit het doel bedrijfsemissies te kunnen meten met een nauwkeurigheidsniveau dat past bij de borging van een doelvoorschrift voor een

¹ Met 'sensor' wordt in dit rapport elk type meetsysteem bedoeld waarmee gasconcentraties continu kunnen worden gemeten, ongeacht meetprincipe, grootte of prijsniveau.

bedrijf. Sensoren kunnen echter ook voor andere doelen ingezet worden met andere prestatie-eisen. Wanneer een bedrijfsmonitor uitsluitend wordt ingezet om het effect van voer- en stalmanagement op emissies te kunnen sturen, dan is het vooral van belang fluctuatie in emissies goed in beeld te krijgen, en kunnen de prestatie-eisen t.a.v. absolute meetwaarde minder stringent zijn. Sensoren kunnen ook ingezet worden met het doel de luchtkwaliteit in de stal te bewaken en beter te beheersen. De meetpunten zullen hier verschillen van de meetpunten die nodig zijn voor het vaststellen van de emissie. Voor bewaking van luchtkwaliteit zijn sensoren met een hogere meetfrequentie nodig dan voor emissies.

Aanpak en indeling van het ontwikkel- en validatieprotocol

Het ontwikkelprotocol is zoveel mogelijk gebaseerd op bestaande nationale en internationale testprocedures voor meetmethodes, die gebruikt worden voor het vaststellen van gasconcentraties in stallen en buitenlucht. De hoofdlijn van de aanpak voor het testen van de meetnauwkeurigheid in het laboratorium is geïnspireerd op de werkwijze beschreven in een conceptversie van de norm voor het testen van sensoren voor gasconcentraties in de buitenlucht (CEN/TC 264, 2018) en de "Guide to the expression of uncertainty in measurement" (GUM; JCGM, 2008). De validatieprocedure voor metingen onder praktijkomstandigheden is afgeleid van de werkwijze beschreven in de RVO-procedure die is opgesteld voor het toetsen van gelijkwaardigheid van meetsystemen voor NH₃-concentraties in stallucht (RVO, 2015; zie bijlage 3) en de Europese standaard NEN-EN 14793 voor vergelijking van referentiemethodes met alternatieve methodes voor gasconcentratiemetingen (CEN, 2017).

Het protocol geeft allereerst een beschrijving van relevante kenmerken van het toepassingsgebied, die nodig zijn voor het uitwerken van de testprocedures (hoofdstuk 2). Vervolgens worden de testen voor het bepalen van een aantal meeteigenschappen en meetnauwkeurigheid in het laboratorium beschreven (hoofdstuk 3). De wijze waarop sensoren in de praktijkomgeving gevalideerd moeten worden ten opzichte van erkende referentiemethodes is uitgewerkt in hoofdstuk 4, waarbij de werkwijze wordt geïllustreerd door middel van een dataset verkregen uit de praktijk. Tenslotte wordt in hoofdstuk 5 ingegaan op installatie en onderhoud van bedrijfsmonitoren, alvorens in hoofdstuk 6 conclusies en aanbevelingen worden gegeven.

2 Beschrijving van het toepassingsgebied

Alvorens met testen te starten, is het noodzakelijk een toepassingsgebied vast te stellen voor de bedrijfsmonitor. Het gaat dan om de boven- en ondergrens (meetbereik) en gemiddeld verwachte concentratie die waargenomen moet of kan worden. Tabel 1 geeft statistische kenmerken voor waargenomen concentraties NH_3 , CO_2 en CH_4 in en rond stallen (met daarnaast temperatuur en luchtvochtigheid, om een indruk te geven van de condities waarbij de bedrijfsmonitor moet kunnen functioneren). Deze gegevens zijn gebaseerd op door Wageningen Livestock Research gerapporteerde stalconcentratie metingen uit emissieonderzoeken in Nederlandse praktijkstallen. Dit gegevensbereik heeft betrekking op daggemiddelde waarden, en is voor de monitoring van emissies in principe voldoende ruim. Incidenteel, en zeker op kortere tijdbasis zoals uur- of minuutwaarden kunnen echter concentraties voorkomen die buiten dit meetbereik liggen. Ook in bijzondere situaties, zoals in het geval van stalreiniging kunnen extreme meetwaarden of -omstandigheden voorkomen. Van belang is om vooraf vast te stellen of de sensor(-en) tegen dergelijke extreme situaties bestand zijn. Eventueel kan de bedrijfsmonitor in deze gevallen tijdelijk buiten gebruik gesteld worden, dan wel verwijderd.

Het hierin opgegeven 95%-gegevensbereik (tussen de percentielen 2,5 en 97,5%) voor elk van de diercategorieën wordt in dit protocol gezien als vereist meetbereik voor stalmetingen. Door het verschil in gegevensbereik tussen de categorieën is het mogelijk dat een bepaald meetsysteem geschikt is voor de ene, maar niet voor de andere diercategorie. Indien noodzakelijk geacht, is het toegestaan een correctie voor achtergrondniveaus te maken door tevens de ingaande lucht in een stal te bemeten. Hierbij geldt dan wel dat gebruikte bedrijfsmonitor ook voor dat niveau gevalideerd moet zijn, en correctie pas vanaf de detectielimiet van de apparatuur plaatsvindt.

Verder zal een middelingstijd (meetduur) moeten worden gedefinieerd, waarover de sensor in staat is een bruikbaar signaal af te geven. Dit kan doorgaans uit datasheets e.d. afgeleid worden, en is dan normaal gesproken ook de resolutie waarop bedrijfsmonitor gegevens logt. In dit protocol wordt ervan uitgegaan, dat het uiteindelijke data-interval maximaal één uur is. Wanneer sensoren (eveneens) tot doel hebben fluctuaties in luchtkwaliteit van stallen te monitoren kan een korter data-interval wenselijk zijn, voor het vaststellen van het emissieniveau is dit echter niet noodzakelijk.

Aan-/uitmetingen (waarbij met een zeker tijdsinterval gemeten wordt) zijn in principe toegestaan, maar vaak niet wenselijk omdat sensoren aanzienlijke opwarmtijden kunnen hebben. Indien hier toch gebruik van gemaakt wordt, dient aangetoond te worden dat de meting representatief is voor beschouwd tijdvak.

Tabel 1 Statistische kenmerken voor een aantal onderzochte variabelen per diercategorie uit emissieonderzoek met referentiemethoden: daggemiddelde concentraties van NH₃, CO₂ en CH₄ in inkomende en uitgaande stallucht, en temperatuur en RV in de stal. Data in de periode 2004-2016 met #Loc: aantal locaties; #Met: aantal metingen (meetdagen); Gem: gemiddelde; Stdev: standaarddeviatie. Bron: Wageningen Livestock Research.

Parameter	Diercategorie	#Loc	#Met	Mediaan	Gem	Stdev	Min	Max	Gegevensbereik (95% alle waarden)
NH ₃ stallucht (ppm)	Melkvee	18	475	2,0	2,2	1,1	0,5	7,1	[0,5 : 4]
	Varkens	42	101	14,6	15,8	9,4	2,0	61,1	[2,0 : 35]
	Pluimvee	19	457	5,2	8,8	10,7	0,1	72,7	[0,1 : 30]
NH ₃ buitenlucht (ppm)	Melkvee	12	59	0,12	0,14	0,10	0,02	0,54	[0,1 : 0,3]
	Varkens	36	88	0,13	0,16	0,11	0,03	0,70	[0,1 : 0,4]
	Pluimvee	17	253	0,12	0,16	0,12	0,02	0,75	[0,1 : 0,4]
CO ₂ stallucht (ppm)	Melkvee	18	475	675	702	171	439	1880	[439 : 1044]
	Varkens	40	96	1720	1882	696	865	4070	[865 : 3274]
	Pluimvee*	19	274	1500	1700	701	711	4550	[711 : 3101]
CO ₂ buitenlucht (ppm)	Melkvee	13	53	424	435	40	392	587	[392 : 514]
	Varkens	29	58	445	450	28	406	544	[406 : 506]
	Pluimvee	15	149	454	462	48	390	589	[390 : 558]
CH ₄ stallucht (ppm)	Melkvee	18	66	27,6	29,0	14,0	5,7	79,8	[6 : 57]
	Varkens	42	94	57,2	77,7	75,0	6,5	375,5	[6 : 228]
	Pluimvee	19	197	2,7	3,6	2,8	1,8	29,6	[2 : 9]
CH ₄ buitenlucht (ppm)	Melkvee	18	47	2,5	3,1	1,5	1,9	8,9	[2 : 6]
	Varkens	42	63	2,7	2,9	0,8	1,9	4,9	[2 : 4]
	Pluimvee	19	97	2,2	2,3	0,3	1,9	3,4	[2 : 3]
Temperatuur stallucht (°C)	Melkvee	18	474	12	12	5	-1	31	[1 : 23]
	Varkens	41	99	25	24	2	18	30	[20 : 29]
	Pluimvee	19	413	24	25	4	16	35	[17 : 32]
RV stallucht (%)	Melkvee	14	266	92	89	10	51	100	[69 : 100]
	Varkens**	41	100	58	58	9	41	84	[41 : 76]
	Pluimvee	19	409	64	65	12	41	100	[42 : 88]

* In vleeskuikenstallen kan gebruik gemaakt worden van gasheaters, die een veel hogere CO₂-concentratie in de stal kunnen veroorzaken dan de hier aangegeven bovengrens.

** In de varkenshouderij wordt op grote schaal gebruik gemaakt van luchtwassers. Voor de inzet van sensoren in de ventilatielucht die de luchtwasser verlaat ligt de mediaanwaarde aanzienlijk hoger (> 90%) en is in veel gevallen sprake van 100% RV.

3 Laboratoriumtests

Het uitvoeren van tests in het laboratorium is optioneel. De veldtest (zie hoofdstuk 4) wordt altijd uitgevoerd, en dient om de bedrijfsmonitor onder praktijkomstandigheden te valideren tegen referentie- of daaraan equivalente methoden. Gegevens verkregen bij een labtest kunnen echter gebruikt worden voor een initiële evaluatie, bij geconstateerde afwijkingen of doorlopende kwaliteitscontrole van in bedrijfsmonitoren te gebruiken sensoren. Zo mogelijk moet het volledige sensorsysteem worden beproefd, d.w.z. inclusief benodigde randapparatuur (bijvoorbeeld voeding, datalogger en filters) aangezien deze onderdelen sterk van invloed op de prestaties kunnen zijn. De beschermende omkasting kan tijdens labtests eventueel achterwege gelaten worden, als dit om praktische redenen noodzakelijk blijkt te zijn.

Voor alle laboratoriumtests geldt dat het gasaanbod een relatieve standaarddeviatie van maximaal 2% heeft, met een absoluut maximum van 0,4 ppm voor NH₃, 0,1 ppm voor CH₄ en 5 ppm voor CO₂. De temperatuur dient binnen ± 2 °C en de relatieve vochtigheid binnen $\pm 5\%$ te blijven gedurende de tests. Het gekalibreerde meetbereik beslaat minimaal het 95% gegevensbereik uit tabel 1 voor de gewenste diercategorie(-ën). Tijdens de stalmetingen zijn meetresultaten met een overschrijding tot 20% van het gekalibreerde bereik acceptabel, zodat uiteindelijk slechts een zeer klein deel van de meetdata hierdoor afgekeurd zal moeten worden.

Het datakwaliteitsdoel voor het gehele meetbereik wordt uitgedrukt als de maximaal toelaatbare uitgebreide onzekerheid (zie verder hoofdstuk 3.3 voor toelichting op de berekening hiervan). In het ontwikkelprotocol wordt hiervoor een waarde van 75% aangehouden.

3.1 Initiële labtest

Bij de initiële labtest worden de responstijd, kalibratie, herhaalbaarheid en detectielimiet achtereenvolgend vastgesteld en getoetst. Het aantal te testen sensoren bedraagt minimaal drie, om toevalligheden in de resultaten te kunnen uitsluiten. Van de resultaten kunnen gemiddelde waarden genomen worden als de tussen-instrument variatie na kalibratie minder is dan 20%. Indien hier niet aan wordt voldaan is er sprake van te veel ruis om het sensorsysteem geschikt te laten zijn voor bedrijfsmonitoring.

Alle hieronder beschreven testen worden (tenzij anders vermeld) uitgevoerd bij de gemiddelde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid die tijdens de daadwerkelijke stalmetingen mag worden verwacht. Ook wordt er, indien niet anders vermeld, geen gebruik gemaakt van eventuele stoorcomponenten. Wanneer in onderstaande tekst gesproken wordt over een doelgas van nul, wordt in het geval van CO₂ de achtergrondconcentratie bedoeld en niet daadwerkelijk 0 ppm. Het gekalibreerde volle meetbereik wordt aangeduid als span.

3.1.1 Responstijd

Voor de responstijd worden drie veranderingen van het doelgas van nul naar span, en weer terug naar nul uitgevoerd. De responstijd (t_{90} ; tijd benodigd tot 90% van de spanwaarde bereikt of afgenomen is) wordt vastgesteld als het gemiddelde van de in totaal zes stijg- en daaltijden. Als criterium wordt er in het ontwikkelprotocol van uitgegaan dat t_{90} ten hoogste $\frac{1}{4}$ van de middelingstijd mag zijn. Voor de toepassing in emissie-monitoring van stallen wordt een middelingstijd van ten hoogste 1 uur genomen (zoals besproken in hoofdstuk 2). Dit betekent dat de maximaal toelaatbare responstijd 15 minuten bedraagt.

3.1.2 Kalibratie

Voor kalibratie zijn minimaal vier stappen nodig, inclusief de nul en span. Iedere stap heeft een minimale duur van vier keer de t_{90} . De kalibratiefunctie wordt afgeleid door middel van lineaire regressie (met helling en afsnijpunt). Vervolgens wordt de onzekerheid bepaald via:

$$u(lof) = \frac{\rho_{max}}{\sqrt{3}}$$

Met

$u(lof)$ onzekerheid door de zogenaamde lack-of-fit van de kalibratiefunctie
 ρ_{max} maximaal verschil tussen regressielijn en sensormeting

De uitgebreide onzekerheid $U(lof)$ is de standaard onzekerheid $u(lof)$ vermenigvuldigd met een dekkingsfactor van 2. Het criterium voor $U(lof)$ in het ontwikkelprotocol is gesteld op minder dan 8% van de spanwaarde, dit komt overeen met de bovengrens voor class 1-sensorsystemen (CEN/TC 264, 2018). Daarnaast mogen helling en afsnijpunt (ook wel intercept genoemd) na kalibratie niet significant ($P < 0,05$) verschillend zijn van respectievelijk één en nul. Hiervoor wordt de F-test gebruikt, de significantiewaarde gegeven in reguliere softwarepakketten is daar normaliter op gebaseerd.

3.1.3 Herhaalbaarheid, instrument-herhaalbaarheid en detectielimiet

De herhaalbaarheid wordt voor elk instrument bepaald door tijdens minimaal drie herhalingen de nul en span te meten. Tegelijk hiermee of separaat wordt de instrument-herhaalbaarheid bepaald, door gelijktijdig met drie instrumenten nul en span te meten. De standaarddeviatie van de herhaalbaarheid wordt als volgt berekend:

$$s_r = \sqrt{\frac{\sum (C_i - C_m)^2}{N - 1}}$$

Met

s_r standaarddeviatie van de herhaalbaarheid
 C_i sensorrespons voor opeenvolgende intervallen i van minimaal $4 \times t_{90}$
 C_m gemiddelde sensorrespons
 N aantal metingen

De standaarddeviatie van de instrument-herhaalbaarheid wordt op soortgelijke wijze berekend. Hierbij wordt, in plaats van de opeenvolgende instrument-responsen, met de gelijktijdige instrument-responsen gedurende een middelingstijd van 1 uur gerekend.

Herhaalbaarheid volgt dan uit $t\sqrt{2}s_r$ met s_r de standaarddeviatie op span en t de Student t-waarde voor het aantal vrijheidsgraden (twee bij drie herhalingen, 95%-betrouwbaarheidsinterval). Detectielimiet wordt berekend uit $3s_r$, waarbij s_r de standaarddeviatie bij nul is.

Criteria voor de detectielimiet binnen het ontwikkelprotocol :

0,5 ppm NH_3 bij melkvee, en 1,0 ppm NH_3 bij varkens en pluimvee;
 400 ppm CO_2 ;
 5 ppm CH_4 bij melkvee en varkens, en 1,0 ppm CH_4 bij pluimvee.

De herhaalbaarheid ligt in alle gevallen onder de 10% bij betreffende detectielimiet, en 5% voor bijbehorende 95%-bovengrens (zie tabel 1).

3.2 Aanvullende labtesten

3.2.1 Drukeffect

Testen op drukeffect is noodzakelijk voor sensoren gebaseerd op infrarood absorptie, voor andere technieken is deze drukeffect-test optioneel. De test wordt uitgevoerd bij twee drukken met een verschil van minimaal 20 hPa. Vervolgens wordt de bijdrage van de druk aan de meetonzekerheid bepaald via:

$$u(X_V) = \left| \frac{C_{X_2} - C_{X_1}}{X_2 - X_1} \right| \frac{X_{max} - X_{min}}{\sqrt{3}}$$

Met	
$u(X_v)$	bijdrage van druk aan meetonzekerheid
C	concentraties tijdens de test
X	drukken tijdens de test
X_{max}	maximum druk verwacht tijdens monitoring, op basis van KNMI-gegevens wordt voor Nederland 1040 hPa verondersteld
X_{min}	minimum druk verwacht tijdens monitoring, op basis van KNMI-gegevens wordt voor Nederland 970 hPa verondersteld

De maximale toegestane $u(X_v)$ binnen het ontwikkelprotocol is 5%.

3.2.2 Temperatuur- of vochtgevoeligheid, stoorcomponenten

Sensoren zijn vaak sterk temperatuur- en vochtafhankelijk, deze variabelen zijn echter ook zwaar gecorreleerd. Daarom dient op één of beide variabelen getest te worden, maar is correctie van het signaal slechts toegestaan voor een van de twee. Bij temperatuur worden vier niveaus tussen -20 en 40 °C gekozen, afhankelijk van de bij de toepassing te verwachten temperatuur en bij een gemiddeld verwachte relatieve vochtigheid. Voor de RV worden vier niveaus gekozen afhankelijk van de te verwachten vochtigheid (bijvoorbeeld tussen de 10-25%, 40-50%, 70-75% en op 90%), bij een gemiddeld verwachte temperatuur. Naast de variatie van temperatuur of relatieve vochtigheid wordt bij elke stap het doelgas op nul en span gebracht. De regressielijn wordt vervolgens afgeleid, waarbij de helling gegeven wordt door:

$$\hat{b} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i C_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n C_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

Met	
\hat{b}	helling van de regressielijn voor beïnvloedende variabele X
C_i	sensorresponses op niveau X_i
X	geteste parameter (temperatuur of relatieve vochtigheid, X_T of X_{RH})

Het afsnijpunt wordt gegeven door:

$$\hat{a} = C_m - \hat{b}X_m$$

Met	
\hat{a}	afsnijpunt van de regressielijn door beïnvloedende variabele X
C_m	gemiddelde sensorrespons
X_m	gemiddelde temperatuur of relatieve vochtigheid

De daadwerkelijke onzekerheid veroorzaakt door temperatuur dan wel relatieve vochtigheid wordt gegeven door:

$$u(X) = \left[\frac{\hat{b}^2}{3} [(X_{min} - X_m)^2 + (X_{min} - X_m)(X_{max} - X_m) + (X_{max} - X_m)^2] + u(lof)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Met	
$u(X)$	onzekerheid door het effect van temperatuur of relatieve vochtigheid
\hat{b}	gemiddelde slope van de regressielijn op nul en span van de test
X_{max}	maximale waarde voor parameter X verwacht onder werkelijke omstandigheden
X_{min}	minimale waarde voor parameter X verwacht onder werkelijke omstandigheden
$u(lof)$	onzekerheid door lack-of-fit in kalibratiefunctie

Als de sensorresponses geen lineaire relatie vertonen met temperatuur of relatieve vochtigheid, wordt $u(X)$ geschat als de standaarddeviatie van de sensorrespons bij de vier niveaus.

Voor stoorcomponenten kan een soortgelijke werkwijze aangehouden worden, rekening houdend met het verwachte niveau van component in kwestie. Welke componenten als stoorcomponent kunnen optreden, wordt vaak duidelijk uit de technische documentatie die bij sensoren geleverd is maar kan soms ook slechts proefondervindelijk vastgesteld worden.

In het ontwikkelprotocol wordt als criterium aangehouden dat hoogste verschil tussen sensorresponses ten gevolge van een interferent, binnen de herhaalbaarheid moet blijven.

3.3 Uitgebreide meetonzekerheid

De uitgebreide meetonzekerheid wordt bepaald met de propagation-of-error methode (voortplanting van fouten), waarbij alle bekende onzekerheidsbronnen worden gecombineerd met de formule:

$$\sigma = 2\sqrt{u(lof)^2 + u(Xv)^2 + u(X)^2}$$

Met

σ	uitgebreide meetonzekerheid
$u(lof)$	lack-of-fit in de kalibratiefunctie
$u(Xv)$	onzekerheid door drukeffect
$u(X)$	onzekerheid door temperatuur-, luchtvochtigheids- of stoorcomponenteffect

Bovenstaande formule kan worden uitgebreid of ingekort al naar gelang hier behoefte aan bestaat, bijvoorbeeld met meerdere interferenten of door het weglaten van het drukeffect bij sensoren die niet met infrarood absorptie werken.

Een voorbeeld-dataset met uitwerking labtest wordt weergegeven in bijlage 1.

4 Veldtest – validatie onder praktijkomstandigheden

Voor de beoordeling van nieuwe sensorsystemen voor bedrijfsmonitoring in de veehouderij dient in ieder geval een veldtest uitgevoerd te worden. Gedurende deze test worden de prestaties van het systeem onder praktijkomstandigheden vergeleken met de standaard referentiemethode (SRM) die zijn voorgeschreven in de Nederlandse meetprotocollen voor stalemissies, of een hieraan equivalente methode (EM). Equivalente methoden zijn methoden die voldoen aan de vergelijking met de SRM, volgens de procedure beschreven in EN 14793 (CEN, 2017) en zoals voor NH₃ uitgewerkt in RVO (2015; zie bijlage 3). Het aantonen van gelijkwaardigheid (equivalentie) van een sensorsysteem wordt validatie genoemd.

De veldtest is noodzakelijk omdat hierdoor het meetsysteem wordt beproefd in de gehele matrix van gassen die in de praktijk in stallen voorkomen, en daarmee wordt blootgesteld aan allerlei mogelijk voorkomende stoorcomponenten (interferenties). Hoewel in een veldtest nooit gegarandeerd kan worden dat alle mogelijke interferenties ook daadwerkelijk optreden, bevordert de veldtest wel dat het belangrijkste deel van bekende maar ook onbekende interferentie-effecten is vertegenwoordigd. Omdat de samenstelling van de stallucht verschilt tussen de diercategorieën is het noodzakelijk dat de validatie voor elk van de diercategorieën wordt uitgevoerd.

In de veldtest wordt onderzocht of een sensorsysteem voor bedrijfsmonitoring voor een gedefinieerd toepassingsgebied informatie levert die gelijkwaardig is aan de SRM of EM voor het betreffende gas. Het te onderzoeken sensorsysteem voor bedrijfsmonitoring wordt hierna verder aangeduid als de alternatieve methode (AM), en de instrumenten als AM-sensoren. De opzet van de veldtest en de wijze van verwerking en beoordeling van de data uit de veldtest worden in de volgende twee paragrafen nader toegelicht.

4.1 Opzet en randvoorwaarden voor uitvoering

De opzet van de veldtest moet voldoen aan de volgende eisen:

- In tenminste vier stallen met dieren van de betreffende categorie worden de AM-sensoren gedurende een testperiode van minimaal 1 jaar continu ingezet, om werking en duurzaamheid van de sensoren gedurende een langere periode en tijdens de verschillende seizoenen te beproeven. Deze werkwijze sluit derhalve aan op de bestaande proefstalopzet.
- De AM-sensoren worden aan het begin van de testperiode gekalibreerd, en opnieuw na het tijdsinterval voorgeschreven door de leverancier. Bij het ontbreken van dergelijke voorschriften vindt gedurende de testperiode geen verdere kalibratie plaats.
- Tijdens de testperiode worden op elk van de vier of meer bedrijven minimaal zes SRM- of EM-metingen gedurende 24 uur uitgevoerd. De metingen moeten verdeeld worden over het jaar conform de meetstrategie beschreven in het meetprotocol voor emissiefactoren van ammoniak (Ogink et al., 2017). Dit betekent dat in praktijk een veldtest voor een type bedrijfsmonitor kan worden opgenomen in een meetserie die wordt uitgevoerd voor het bepalen van een emissiefactor voor een stalsysteem, en gebruik kan maken van de SRM/EM-metingen die hiervoor moeten worden verricht.
- De instrumenten/samplers van de SRM dan wel EM en AM, moeten tegelijkertijd lucht uit hetzelfde monsternamepunt aangeboden krijgen. Let hierbij met name op de homogeniteit van het monsternamevlak, aangezien dit grote invloed op de resultaten kan hebben. Hiertoe kan bijvoorbeeld met monsternameleidingen en/of -buizen gewerkt worden.
- De SRM-metingen voor NH₃, CO₂ en CH₄ moeten in duplo worden uitgevoerd omdat het hier methodes betreft die gemiddelde meetresultaten geven voor 24 uur-verzamelmonsters. EM-metingen die semi-continue meetgegevens leveren gedurende de bemonsteringsperiode kunnen in enkelvoud worden ingezet. In dat geval wordt een aanvullende data-analyse, bv.

op uurbasis aanbevolen. Om vergelijking in alle gevallen mogelijk te maken op een gelijke grondslag, vindt analyse in het validatieprotocol echter op 24-uursgemiddelden plaats.

- De verkregen dataset met 24-uursgemiddelden dient te worden gecontroleerd op uitbijters in de waargenomen relatieve verschillen tussen AM en SRM/EM, door middel van de boxplot-methode met driemaal de IKA-waarde (interkwartiel-afstand, ofwel het verschil tussen het eerste en derde kwartiel) als maat voor uitbijters (Chambers et al., 1983). Indien uitbijters geconstateerd worden, dient oorzaak nader onderzocht te worden. Mocht dit geen resultaat hebben, kan overwogen worden de uitbijters uit te sluiten bij de verdere data-analyse. Dit dient in de rapportage te worden vermeld en onderbouwd.
- Voor het beoordelen van instrument-herhaalbaarheid onder veldcondities dient op in ieder geval een van de locaties een viertal bedrijfsmonitoren tegelijk te worden ingezet, gedurende minimaal één van de 24-uursmetingen. De herhaalbaarheid wordt vastgesteld volgens de werkwijze beschreven in paragraaf 3.1.3, waarbij voor een SRM het gemiddelde van de duplo's en voor een EM uursgemiddelden worden gebruikt.

Er wordt jaarrond gemeten om enerzijds een idee van seizoeneffecten te verkrijgen, en anderzijds drift en duurzaamheid van de sensor/bedrijfsmonitor vast te stellen.

4.2 Beoordeling van gelijkwaardigheid methodes en inzetbaarheid voor bedrijfsmonitoring

De veldtest wordt uitgevoerd om aan te kunnen tonen dat de AM en de SRM dan wel EM (verder in deze paragraaf enkel aangeduid als SRM/EM) gelijkwaardige resultaten opleveren in het concentratiegebied waar de validatie is uitgevoerd. De nulhypothese in deze test is dat de concentraties die gemeten zijn met beide methoden (AM en SRM/EM) geen systematische afwijkingen t.o.v. elkaar vertonen. Dit zou betekenen dat een lineaire regressie van de concentraties met de AM en de SRM/EM methode ($y = a + bx$) zou moeten leiden tot een helling $b = 1$ en een afsnijpunt $a = 0$. Daarnaast dient voor gelijkwaardigheid aangetoond te worden dat voldaan wordt aan de eisen voor (instrument-)herhaalbaarheid onder veldcondities. De te volgen werkwijze voor het toetsen van de afwezigheid van systematische afwijkingen en het voldoen aan de herhaalbaarheidseis wordt hierna uiteengezet. Een rekenvoorbeeld met praktijkdata wordt weergegeven in bijlage 2.

Omdat de onzekerheid verbonden aan de metingen door de SRM/EM niet verwaarloosbaar zijn t.o.v. de onzekerheid in metingen van de AM wordt gebruik gemaakt van orthogonale lineaire regressie. In de orthogonale variant wordt de regressielijn berekend op basis van het minimaliseren van de kwadraatsom van de residuen in loodrechte richting op de lineaire regressielijn (zie voor berekeningswijze bv. CEN (2017)). In een orthogonale regressie is de berekende regressielijn onafhankelijk van welke van de twee variabelen op de x-as of y-as worden geplaatst. Om de hypothese van gelijkwaardigheid te valideren moeten de volgende stappen worden uitgevoerd:

1. Voer de veldtest uit volgens de opzet beschreven in paragraaf 4.1, en genereer een dataset met getallenparen van de gelijktijdig gemeten AM- en SRM/EM-waarden (Y_i , X_i) voor elke meting i waarin Y_i en X_i zijn gebaseerd op 24-uursgemiddelden en/of gemiddelde duplo-waarden.
2. Voer een uitbijtertoets uit op de dataset op basis van de boxplot-methode met driemaal de IKA-waarde (interkwartiel-afstand) als maat voor uitbijters.
3. Bereken de orthogonale regressielijn $Y_i = a + bX_i$ volgens de berekeningsmethode toegelicht in EN 14793 (zie ook bijlage 2), met afsnijpunt a en helling b .
4. Bereken de correlatiecoëfficiënt r .
5. Bereken het volgende acceptatie-interval: $1 - s_R/(SRM/EM)_{gem} \leq b \leq 1 + s_R/(SRM/EM)_{gem}$ met s_R gelijk aan de reproduceerbaarheid van de SRM/EM, en SRM/EM_{gem} de gemiddelde waarde van SRM/EM in de dataset. Alternatief mag ook getoetst worden of $y = x$ binnen 20% blijft, zoals vermeld in RVO (2015; zie bijlage 3).

Toets de berekende resultaten op de volgende criteria voor gelijkwaardigheid AM en SRM/EM:

1. $r \geq 0,97$ (voor een gelijke beoordelingsbasis, dient deze test altijd voor vier bedrijfsmonitoren te worden uitgevoerd)
2. $|a| \leq s_R$
3. helling b voldoet aan het acceptatie-interval: $1 - s_R/(SRM/EM)_{gem} \leq b \leq 1 + s_R/(SRM/EM)_{gem}$

Voor de beoordeling van de herhaalbaarheid wordt deze allereerst berekend volgens de werkwijze uiteengezet in paragraaf 3.1.3. De berekende herhaalbaarheid mag volgens EN 14793 niet de maximaal toegestane herhaalbaarheid van de SRM overschrijden, of alternatief moet $y = x$ binnen 20% blijven.

Als uit deze test blijkt dat de AM gelijkwaardig is aan de SRM/EM kan deze ingezet worden voor doelen waarvoor de SRM/EM zijn gekwalificeerd, zoals gebruik als meetinstrument voor het vaststellen van emissiefactoren. De AM is daarnaast volledig geschikt voor gebruik in bedrijfsmonitoring.

Als de AM niet voldoet aan de genoemde criteria voor gelijkwaardigheid dan is dit mogelijk veroorzaakt door het effect van stoorcomponenten in de praktijkomgeving. In dit geval kan de dataset gebruikt worden voor het berekenen van een veldkalibratielijns per bedrijfslocatie. Vervolgens kan nogmaals een orthogonale lineaire regressie per bedrijfslocatie worden berekend op basis van de gekalibreerde AM-waarden en de SRM/EM-waarden uit de datasets. Wanneer voor elke bedrijfslocatie voldaan wordt aan de genoemde criteria voor de orthogonale regressielijn dan is de AM voorwaardelijk geschikt voor inzet in bedrijfsmonitoring. De voorwaardelijkheid houdt in dat elke AM-sensor voorafgaand aan gebruik in de praktijk wordt gekalibreerd met een SRM/EM in een representatieve praktijkmatrix. In hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op de opleveringseisen voor een voorwaardelijk geschikte AM-sensor.

5 Installatie en onderhoud

In dit hoofdstuk worden een aantal aandachtspunten gegeven met betrekking tot de kalibratie vooraf, installatie/oplevering, gebruik en onderhoud van bedrijfsmonitoren. De verschillende sensoren dan wel bedrijfsmonitoren kunnen hun eigen bijzonderheden hebben o.a. door het toegepaste meetprincipe en de configuratie. Onderstaande hoeft dan ook niet volledig te zijn, en kan gedurende de verdere ontwikkeling van het protocol aangevuld gaan worden.

5.1 Kalibratie vooraf

Afhankelijk van testresultaten, is de sensor voorzien van een generieke dan wel sensor-specifieke kalibratie (fabrikant of lab). De kalibratie wordt op gezette tijden herhaald naar voorschrift van de leverancier. Hiervoor kunnen ijkgasen toegepast worden, geautomatiseerd of handmatig aan te bieden aan de bedrijfsmonitor. Betreffende data wordt overeenkomstig geregistreerd/vastgelegd, en niet in de reguliere dataverwerking meegenomen. Kalibratiefrequentie dient afdoende te zijn om drift van de sensor(-en) te kunnen ondervangen.

Het kan ook nodig zijn, elke sensor van een veldkalibratie te voorzien door initiële vergelijking met een SRM/EM en eventueel vervolgmetingen op gezette tijden. Hiervoor worden de instructies van de fabrikant gevolgd, waarbij aangetoond moet worden dat verschil met SRM/EM maximaal de herhaalbaarheid blijft bedragen.

5.2 Installatie/oplevering

Bij de installatie worden de instructies van de leverancier opgevolgd, en dient een eventuele monsternamaleiding geplaatst te worden conform het protocol van Ogink et al. (2017). Speciaal aandachtspunt vormt de stroomvoorziening, deze dient zo stabiel mogelijk te zijn of bedrijfsmonitor heeft hiertoe ingebouwde voorzieningen.

Tevens dient de opwarmtijd in acht genomen te worden, alvorens een opleveringsmeting gestart wordt. De opleveringsmeting betreft een vergelijking van minimaal een etmaal t.o.v. SRM/EM, waarbij verschil in het ontwikkelprotocol op maximaal de herhaalbaarheid gesteld is.

5.3 Gebruik

Omdat de bedrijfsmonitor over langere tijd continu in gebruik zal zijn is geautomatiseerde data-inname gewenst, bijvoorbeeld als onderdeel van het managementsysteem. Daarbij is het van belang de data met zo hoog mogelijke resolutie op te slaan, zodat ook kortdurende afwijkingen in stalklimaat of apparatuuresignaleerd kunnen worden. Voor het monitoren van emissies, kan het nuttig zijn de waarden tevens te aggregeren tot uur- en dag-, maand- of jaarwaarden. De informatie moet zo lang bewaard blijven als vereist voor de verantwoording, of om ook over langere termijn inzicht te krijgen over de prestaties van het stalsysteem en het gevoerde management.

Het systeem bewaakt daarbij bij voorkeur zelf het goede functioneren, door controle op de operationele status en/of (plausibiliteits-)checks op de data. De veehouder kan door het systeem dan tevens actief geïnformeerd worden over afwijkende situaties en actie ondernemen qua bedrijfsvoering, of zo nodig de bedrijfsmonitor.

5.4 Onderhoud

De onderhoudsinstructies zoals verstrekt door de fabrikant, worden opgevolgd. Hierbij kunnen handelingen van de veehouder nodig zijn, zoals periodieke controles. Dit kan zowel een visuele inspectie in de stal zijn of van de data, voor zover hier niet reeds geautomatiseerde controles op plaatsvinden. Bij afwijkingen wordt correctieve actie ondernomen door veehouder, of de leverancier van het systeem ingeschakeld. Ook reguliere onderhoudswerkzaamheden waaronder het schoonmaken of -houden van (delen van) de bedrijfsmonitor kunnen hier onderdeel van uitmaken. Hiertoe zal de veehouder afdoende geïnstrueerd moeten worden door de leverancier.

Het kan noodzakelijk of wenselijk zijn, een onderhoudscontract met een hiertoe geëigende partij af te sluiten. Bij deze onderhoudsmomenten worden controles en/of kalibraties uitgevoerd. Controle is bijvoorbeeld mogelijk door vergelijking met een gekalibreerde handheld die voor metingen in stallen geschikt is. Kalibratie kan plaatsvinden door gas(-sen) van een bekende concentratie aan de bedrijfsmonitor aan te bieden. Tevens kunnen onderdelen vervangen worden waaronder sensormodules of ingebouwde ijkgaspatronen. Daarbij is het van belang de aangetroffen situatie goed vast te leggen, om aan te tonen dat de bedrijfsmonitor in de voorgaande periode correct gefunctioneerd heeft. Ook in een uitgangscontrole dient te zijn voorzien, waarbij alle relevante gegevens vastgelegd worden.

Al het onderhoud, zowel door veehouder als leverancier wordt vastgelegd in een (digitaal) logboek.

6 Conclusies en aanbevelingen

Conditie waaronder bedrijfsmonitoren in stallen moeten kunnen functioneren, variëren soms sterk tussen en zelfs binnen diercategorieën. Tevens kunnen er allerlei verschillende stoorcomponenten voorkomen. Dit maakt het noodzakelijk sensoren voor gebruik in stalmonitoren scherp te selecteren en te valideren onder praktijkomstandigheden. In dit rapport wordt een opzet gegeven voor het uitvoeren van lab- en veldtests om deze selectie en validatie mogelijk te maken. Tegelijk bevindt de stalmonitoring zich nog in de ontwikkel- en/of pilotfase, waardoor de kennis ervan vooralsnog beperkt is. Dit maakt het opstellen van een definitief protocol lastig, en het onderhavige document moet dan ook als startpunt gezien worden.

In paragraaf 4.2 wordt aangegeven hoe gelijkwaardigheid met de referentiemethode kan worden aangetoond. Daarbij wordt ook het begrip voorwaardelijke geschiktheid van een sensortype geïntroduceerd als blijkt dat sensoren alleen op individuele basis na veldkalibratie voldoen. Het protocol voor emissiemetingen zou hierbij het uitgangspunt kunnen zijn, maar er is zeker behoefte aan een eenvoudiger en kostenbesparende methode. In het ontwikkelprotocol wordt een eerste handvat gegeven, maar er is meer onderzoek nodig om tot de beste werkwijze te komen.

Het is ook denkbaar om een generieke veldkalibratielijngebaseerd op alle instrumenten in het validatie-onderzoek te berekenen, en vervolgens na correctie van de meetdata met deze generieke kalibratielijng de toetsing op gelijkwaardigheid uit te voeren. Bij gebleken gelijkwaardigheid zou dit sensortype dan geschikt kunnen worden verklaard voor bedrijfsmonitoring, met toepassing van de generieke kalibratielijng uit het validatieonderzoek op alle instrumenten van dit sensortype. Hoewel aantrekkelijk en kostenbesparend, zal in dit geval voorzien moeten worden in aanvullende kwaliteitsborging om te zorgen dat ook nieuwe bedrijfsmonitoren voldoen.

Om de sensor(-systemen) die als bedrijfsmonitor ingezet zullen worden, maar ook het protocol verder te ontwikkelen zijn meer pilots nodig. Binnen deze trajecten kunnen vragen als optimale werkwijze voor opleveringsmetingen, veldkalibratie-procedures en benodigde controles in de tijd en bedrijfs- vs. instrumentinteracties beantwoord gaan worden. Hieruit kan eveneens geleerd worden hoe verschillende typen sensoren zich gedurende hun levensduur gedragen onder stalcondities, welke wezenlijk anders zijn dan buitenlucht qua concentraties maar ook aanwezige interferenten.

Het in het rapport gepresenteerde rekenvoorbeeld dient als een 'proof of concept', en genoemde criteria zijn inschattingen van wat haalbaar en noodzakelijk zou zijn om resultaten te verkrijgen die betrouwbaar genoeg zijn om zinvol te kunnen interpreteren. De onzekerheid in de vaststelling van emissies kan aanzienlijk zijn en dient beter gekwantificeerd te worden, voordat definitieve vereisten vastgesteld kunnen worden. Ook na optimalisatie van bedrijfsmonitoren en verdere verfijning van het ontwikkel- en validatieprotocol, zal echter een bepaalde onzekerheid blijven bestaan. De uiteindelijke keus voor de te hanteren criteria en de daarmee samenhangende geaccepteerde meetonzekerheid is, net als het aanwijzen van instanties die de kalibraties mogen uitvoeren dan wel beoordelen een beleidsmatige keuze.

Literatuur

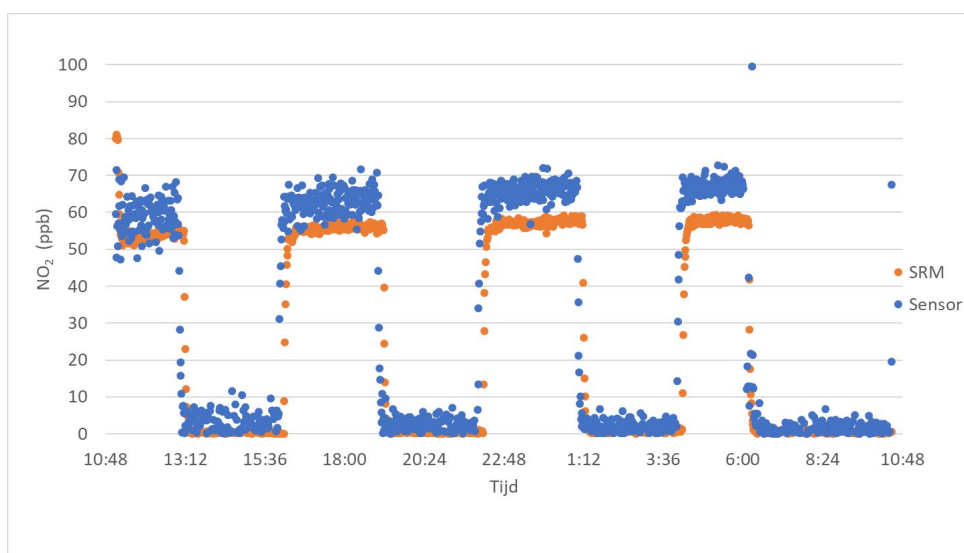
- Chambers, J.M., W.S. Cleveland, B. Kleiner & P.A. Tukey (1983). Graphical Methods for Data Analysis. Wadsworth & Brooks/Cole. Pacific Grove (CA), USA.
- CEN (2017). NEN-EN 14793:2017 Stationary source emissions – Demonstration of equivalence of an alternative method with a reference method. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- CEN/TC 264 (2018). Air quality – Performance evaluation of air quality sensors – Part 1: Gaseous pollutants in ambient air. Working document. NEN, Delft.
- Ellen, H., D. van Dinther, R. Melse, J. Mosquera, N. Ogink, J.P.M. Ploegaert & J. Vonk (2018). StalSens-Oren: meetsystemen voor bedrijfsmonitoring van emissies in de veehouderij. Deskstudie naar de mogelijkheden voor directe emissieregistratie. Rapport 1099. Wageningen Livestock Research, Wageningen University & Research, Wageningen.
- JCGM (2008). Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. Corrected version 2010.
https://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera & J.M.G. Hol (2017). Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a. Rapport 1032. Wageningen Livestock Research, Wageningen University & Research, Wageningen.
- VERA (2018). VERA Test Protocol for Livestock Housing and Management Systems. Version 3:2018-09. https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA_Testprotocol_Housing_v3_2018.pdf

Bijlage 1 Rekenvoorbeeld laboratoriumtesten

In deze bijlage staan rekenvoorbeelden van de testen die in het laboratorium uitgevoerd kunnen worden, zoals beschreven in hoofdstuk 3. De berekeningen zijn uitgevoerd op een dataset van een NO₂ sensor getest door het RIVM voor buitenluchtmetingen, omdat een vergelijkbare set gegevens voor NH₃, CO₂ of CH₄ in stallen niet beschikbaar was. Onderliggende principes blijven echter gelijk.

B1.1 Responstijd

De NO₂ sensor is getest met stappen tussen 0 en 60 ppb (deze laatste als spanwaarde). Hiertoe zijn meerdere herhalingen gedaan (zie Figuur B1.1). De sensor komt niet exact op de gestelde nul- en spanwaarden. Om de t_{90} te bepalen, wordt de gemiddelde concentratie gemeten tijdens het plateau bepaald.



Figuur B1.1 Tijdsree van gemeten NO₂ concentraties van SRM en sensor ten behoeve van bepaling van de responstijd.

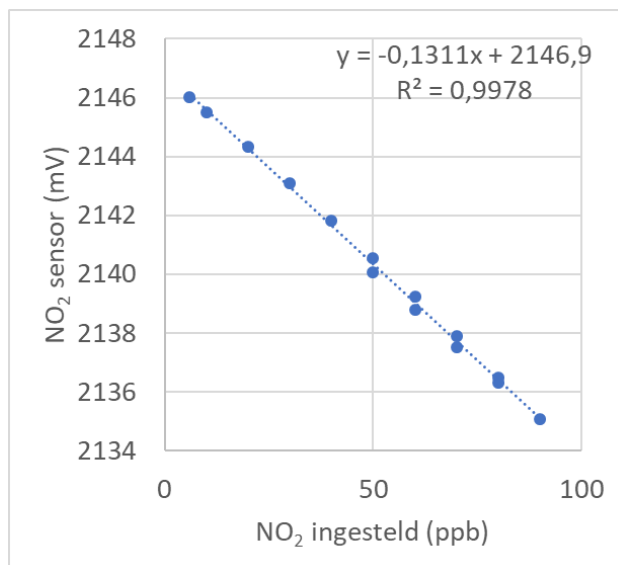
De gevonden responstijden per stap zijn gegeven in Tabel 2. De gemiddelde responstijd komt hiermee uit op 12 minuten. De maximaal toelaatbare responstijd is gesteld op 15 minuten, daarom zou deze sensor binnen de gestelde norm voor stalmonitoring vallen.

Tabel 2 Responstijden voor de NO₂ sensor bij de verschillende stappen.

Stap	t_{90} (minuten)
Daling 1	19
Stijging 1	11
Daling 2	11
Stijging 2	9
Daling 3	12
Stijging 3	11

B1.2 Kalibratie

Kalibratie heeft plaatsgevonden bij de volgende NO₂ concentraties: 6, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 en 90 ppb. Dit is vele malen uitgebreider dan de 4 stappen die nodig zijn volgens het ontwikkel- en validatieprotocol. Helaas zijn de waarden van de SRM niet juist weggeschreven, daarom is in dit voorbeeld gerekend met de ingestelde NO₂ concentraties.



Figuur B1.2 Scatterplot van de gemeten NO₂ concentratie van de sensor (in mV) tegen de ingestelde NO₂ concentratie, met bijbehorende lineaire regressie.

Met behulp van de gevonden kalibratie wordt vervolgens de gemeten NO₂ concentratie in mV teruggerekend in ppb. Vervolgens wordt het verschil berekend tussen de gekalibreerde waarde van de NO₂ sensor met de NO₂ concentratie van de SRM (in dit geval de ingestelde NO₂ concentratie), zie Tabel 3. De onzekerheid door de lack-of-fit van de kalibratiefunctie is het maximale verschil delen door wortel 3. In dit geval is deze dus 1,4.

Tabel 3 Kalibratie van de NO₂ sensor, waarbij de gekalibreerde NO₂ sensor wordt vergeleken met de daadwerkelijke NO₂ concentratie.

Tijd	NO ₂ sensor (mV)	Ingestelde NO ₂ (ppb)	NO ₂ sensor (ppb)	Verschil sensor en ingestelde NO ₂ (ppb)
17:00-18:00	2146	6	7,4	1,4
20:00-21:00	2146	10	11,2	1,2
23:00-00:00	2144	20	20,1	0,1
02:00-03:00	2143	30	29,7	-0,3
05:00-06:00	2142	40	39,3	-0,7
08:00-09:00	2141	50	49,0	-1,0
11:00-12:00	2139	60	58,9	-1,1
14:00-15:00	2138	70	69,2	-0,8
17:00-18:00	2136	80	79,8	-0,2
20:00-21:00	2135	90	90,5	0,5
23:00-00:00	2136	80	81,1	1,1
02:00-03:00	2138	70	72,0	2,0
05:00-06:00	2139	60	62,3	2,3
08:00-09:00	2140	50	52,5	2,5

B1.3 Herhaalbaarheid

In dit rekenvoorbeeld zal alleen de herhaalbaarheid voor een enkele sensor worden bepaald, aangezien de test van het RIVM met één sensor werd uitgevoerd. De instrument-herhaalbaarheid volgt echter op eenzelfde wijze, maar dan met drie verschillende instrumenten. In Tabel 4 staat een voorbeeld van gevonden sensorrespons voor drie herhalingen op nul en span. Tevens worden hier de waarden bepaald van de sensorrespons min de gemiddelde sensorrespons ($C_i - C_m$). Hier kan vervolgens de standaarddeviatie van de herhaalbaarheid uit worden bepaald (zie paragraaf 3.1.3), voor deze sensor is deze 1 ppb. Voor de detectielimiet is deze 3 maal de standaarddeviatie bij nul, in dit geval 0,25 ppb.

Tabel 4 Sensorrespons voor 3 herhalingen op span en nul met gemiddelde, en verschil tussen sensorrespons en de gemiddelden.

Stap	NO ₂ sensor (ppb)	Gemiddelde	$C_i - C_m$
Span 1	64,1	65,8	-1,7
Span 2	66,3		0,5
Span 3	67,1		1,3
Nul 1	1,07	0,93	0,14
Nul 2	1,09		0,16
Nul 3	0,64		-0,29

B1.4 Drukeffect

Het testen van drukeffecten is noodzakelijk voor sensoren gebaseerd op infrarood absorptie. De NO₂ sensor getest door het RIVM gebruikt geen infrarood absorptie. Vandaar dat deze test op deze sensor niet is uitgevoerd. Hierdoor is een rekenvoorbeeld voor deze test dan ook niet toe te voegen.

B1.5 Temperatuur- en vochtgevoeligheden, stoorcomponenten

De berekening van temperatuur- en vochtgevoeligheden en andere stoorcomponenten volgen op dezelfde wijze. Voor dit rekenvoorbeeld wordt de gevoeligheid van de sensor ten aanzien van vocht in kaart gebracht. De NO₂ sensor is getest in het laboratorium voor een relatieve vochtigheid (RV) van 40, 50, 60, 70 en 80%. Deze test is uitgevoerd bij nul waarden van NO₂. Volgens het protocol zou er ook een test bij span waarden uitgevoerd moeten worden, dit is echter bij dit experiment niet het geval geweest. Dit rekenvoorbeeld is dan ook een versimpelde weergave van de daadwerkelijk uit te voeren berekening.

In Tabel 5 staat de RV en de NO₂ concentraties die gemeten zijn met de sensor. Uit deze waarden worden de helling en het afsnijpunt bepaald. In geval van deze getallen zijn deze 0,013 (helling) en 2,0 (afsnijpunt). Voor dit voorbeeld wordt vervolgens de maximale en minimale waarden van de RV op 50% en 80% verondersteld. Deze worden samen met $u(1of)$ die uit de kalibratie gevonden is in de formule ingevuld, waarbij voor dit voorbeeld een onzekerheid veroorzaakt door relatieve vochtigheid volgt van 1,2 ppb.

Tabel 5 *Relatieve vochtigheid en gemeten NO₂ concentraties met de sensor.*

RV (%)	NO ₂ sensor (ppb)
49	2,3
59	3,0
69	3,1
79	2,7

B1.6 Uitgebreide meetonzekerheid

De uitgebreide meetonzekerheid volgt uit een combinatie van de verschillende meetonzekerheden. De onzekerheid voor lack-of-fit was 1,4 ppb. Voor de geteste NO₂ sensor wordt de onzekerheid van drukeffecten nul verondersteld (sensor is niet gebaseerd op infrarood absorptie). De gevonden onzekerheid voor relatieve vochtigheid was 1,2 ppb. Die van temperatuur wordt voor dit voorbeeld niet meegenomen. Dit brengt de uitgebreide meetonzekerheid op 3,7 ppb.

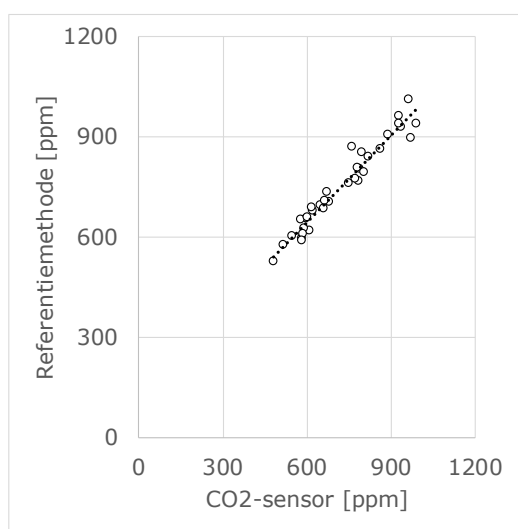
Bijlage 2 Rekenvoorbeeld beoordeling gelijkwaardigheid meetmethode

In deze bijlage worden een aantal voorbeelden gepresenteerd van analyses die gedaan zijn om de gelijkwaardigheid te toetsen van sensoren die ingezet worden voor concentratiemetingen in stallen (melkvee, varkens en pluimvee). De gelijkwaardigheid wordt getoetst t.o.v. de referentiemethode gebaseerd op monsternamen gedurende 24 uur in luchtzakken gevolgd door laboratoriumanalyse met een GC-analyse voor CO₂ en CH₄, en monsternamen gedurende 24 uur volgens de natchemische methode voor NH₃. Dit wordt gedaan aan de hand van metingen bij de verschillende hoofdcategorieën dieren en binnen een van die categorieën alle drie de gassen, om de verschillen die kunnen optreden tussen componenten en diersoorten te illustreren. Hiervoor is ruwe, nog niet gepubliceerde data uit klimaatonderzoek gebruikt. Deze dataset wordt verder aangevuld en zal later integraal gepubliceerd gaan worden.

Gestreefd is de analyse te baseren op metingen op vier (melkvee-)locaties volgens de beschreven opzet in paragraaf 4.1. In het voorbeeld met CO₂-sensoren bij pluimvee is het aantal beschikbare locaties momenteel beperkt tot twee.

Voorbeeld 1: CO₂-sensoren voor metingen bij melkveelocaties

In onderstaande figuur worden simultane metingen met CO₂-sensoren en de referentiemethode op vier melkveelocaties grafisch weergegeven. Totaal over alle vier locaties zijn 37 metingen uitgevoerd. Per sensor (en ook per locatie, aangezien de sensor de hele tijd op dezelfde locatie is gebleven) is een regressielijn opgesteld (zie tabel hieronder). De regressielijnen zijn voor de verschillende sensoren niet vergelijkbaar, waardoor momenteel per sensor (en niet per sensortype) een afzonderlijke kalibratie wordt vereist. Met de verkregen dataset is volgens de methode in paragraaf 4.2 de gelijkwaardigheid getoetst. Voor het toetsingscriterium s_R/SRM_{gem} is een waarde van 5% toegepast. Op basis van de orthogonale regressieresultaten (voor alle punten van alle 4 locaties) wordt geconcludeerd dat de methode niet gelijkwaardig aan de referentiemethode is (zie tabel hieronder).



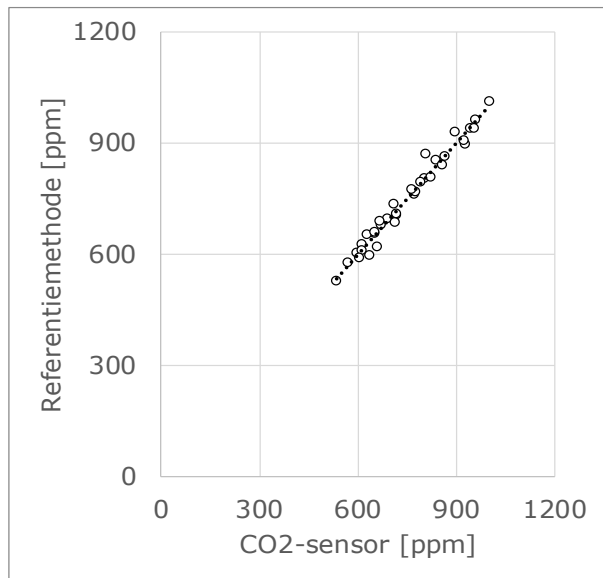
Tabel 6 Regressielijn $y = a + bx$.

	b	a
M1	0,80	177,4
M2	0,97	67,7
M3	0,82	129,9
M4	0,90	121,5

Tabel 7 Orthogonale regressie.

Parameter	Waarde	Criteria	Voldoet?
b (C1')	0,87	> 0,95 < 1,05	Nee
a (C0')	130,9	< 37,9	Nee
r	0,97	≥ 0,97	Ja

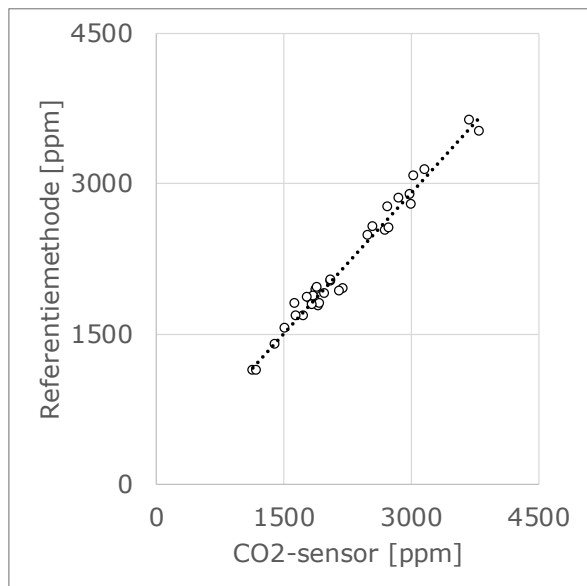
Omdat de sensoren niet voldeden is als volgende stap een veldkalibratie uitgevoerd op basis van dezelfde dataset. Vervolgens zijn met de verkregen kalibratielijn (per sensor/locatie) de sensor-data gecorrigeerd, en is opnieuw de gelijkwaardigheid van de sensor-methode (met veldkalibratielijn) beoordeeld met de procedure beschreven in paragraaf 4.1. Na deze veldkalibratie (zie hieronder) werd wel voldaan aan de gestelde criteria voor gelijkwaardigheid.

**Tabel 8** Orthogonale regressie.

Parameter	Waarde	Criteria	Voldoet?
b (C1')	0,98	> 0,95 < 1,05	Ja
a (C0')	15,9	< 37,9	Ja
r	0,99	≥ 0,97	Ja

Voorbeeld 2: CO₂-sensoren voor metingen bij varkenslocaties

In onderstaande figuur worden simultane metingen met CO₂-sensoren en de referentiemethode op vier varkenslocaties (2 voor biggen en 2 voor vleesvarkens) grafisch weergegeven. Totaal over alle vier locaties zijn 32 metingen uitgevoerd. Per sensor (en ook per locatie, aangezien de sensor de hele tijd op dezelfde locatie is gebleven) is een regressielijn opgesteld (zie tabel hieronder). Met de verkregen dataset is volgens de methode in paragraaf 4.2 de gelijkwaardigheid getoetst. Voor het toetsingscriterium s_R/SRM_{gem} is een waarde van 5% toegepast. Op basis van de orthogonale regressieresultaten (voor alle punten van alle 4 locaties) wordt geconcludeerd dat de methode gelijkwaardig aan de referentiemethode is (zie tabel hieronder). De regressielijnen zijn voor de verschillende sensoren niet vergelijkbaar, waardoor momenteel per sensor (en niet per sensortype) een afzonderlijke kalibratie wordt vereist.



Tabel 9 Regressielijn $y = a + bx$.

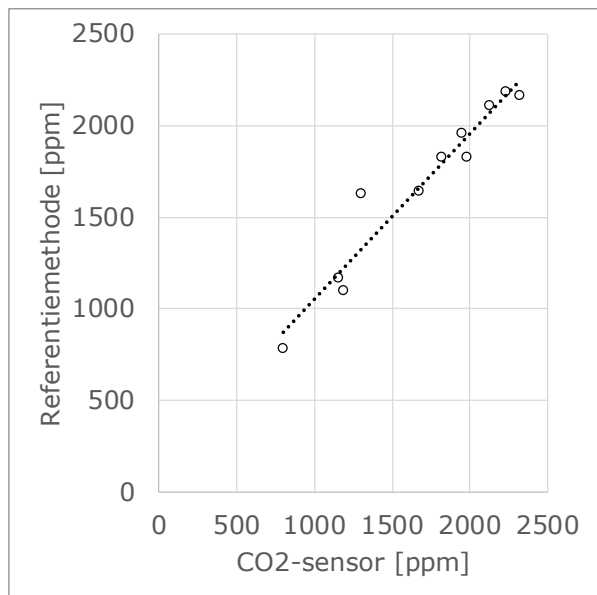
	b	a
BG1	1,02	-129,1
VV1	0,94	47,4
BG2	1,01	-16,0
VV2	0,84	358,0

Tabel 10 Orthogonale regressie.

Parameter	Waarde	Criteria	Voldoet?
b (C1')	0,97	> 0,95 < 1,05	Ja
a (C0')	24,4	< 109,3	Ja
r	0,99	≥ 0,97	Ja

Voorbeeld 3: CO₂-sensoren voor metingen bij pluimveelocaties

In onderstaande figuur worden simultane metingen met CO₂-sensoren en de referentiemethode op twee pluimveelocaties (leghennen) grafisch weergegeven. Totaal over de twee locaties zijn 11 metingen uitgevoerd. Per sensor (en ook per locatie, aangezien de sensor de hele tijd op dezelfde locatie is gebleven) is een regressielijn opgesteld (zie tabel hieronder). De regressielijnen zijn voor de verschillende sensoren niet vergelijkbaar, waardoor momenteel per sensor (en niet per sensortype) een afzonderlijke kalibratie wordt vereist. Met de verkregen dataset is volgens de methode in paragraaf 4.2 de gelijkwaardigheid getoetst. Voor het toetsingscriterium s_R/SRM_{gem} is een waarde van 5% toegepast. Op basis van de orthogonale regressieresultaten (voor alle punten van beide locaties) wordt geconcludeerd dat de methode niet gelijkwaardig aan de referentiemethode is (zie tabel hieronder).



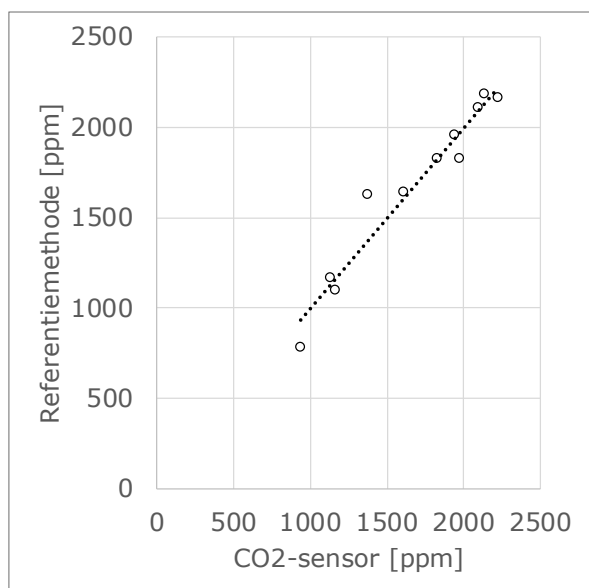
Tabel 11 Regressielijn $y = a + bx$.

	b	a
LG1	0,93	53,2
LG2	0,87	239,0

Tabel 12 Orthogonale regressie.

Parameter	Waarde	Criteria	Voldoet?
b (C1')	0,93	> 0,95 < 1,05	Nee
a (C0')	107,7	< 83,6	Nee
r	0,97	$\geq 0,97$	Ja

Omdat de sensoren niet voldeden is als volgende stap een veldkalibratie uitgevoerd op basis van dezelfde dataset. Vervolgens zijn met de verkregen kalibratielijn (per sensor/locatie) de sensor-data gecorrigeerd, en is opnieuw de gelijkwaardigheid van de sensor-methode (met veldkalibratielijn) beoordeeld met de procedure beschreven in paragraaf 4.1. Na deze veldkalibratie (zie hieronder) werd wel voldaan aan de gestelde criteria voor gelijkwaardigheid.

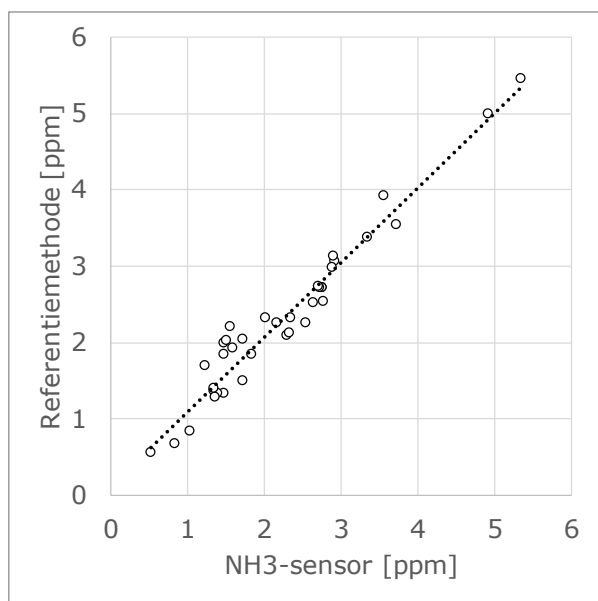


Tabel 13 Orthogonale regressie.

Parameter	Waarde	Criteria	Voldoet?
b (C1')	1,03	> 0,95 < 1,05	Ja
a (C0')	48,5	< 83,6	Ja
r	0,99	≥ 0,97	Ja

Voorbeeld 4: NH₃-sensoren voor metingen bij melkveelocaties

In onderstaande figuur worden simultane metingen met NH₃-sensoren en de referentiemethode op vier melkveelocaties grafisch weergegeven. Totaal over alle vier locaties zijn 37 metingen uitgevoerd. Per sensor (en ook per locatie, aangezien de sensor de hele tijd op dezelfde locatie is gebleven) is een regressielijn opgesteld (zie tabel hieronder). Met de verkregen dataset is volgens de methode in paragraaf 4.2 de gelijkwaardigheid getoetst. Voor het toetsingscriterium S_R/SRM_{gem} is een waarde van 5% toegepast. Op basis van de orthogonale regressieresultaten (voor alle punten van alle 4 locaties) wordt geconcludeerd dat de methode gelijkwaardig is aan de referentiemethode (zie tabel hieronder). De regressielijnen zijn voor de verschillende sensoren niet vergelijkbaar, waardoor momenteel per sensor (en niet per sensortype) een afzonderlijke kalibratie wordt vereist.

**Tabel 14** Regressielijn $y = a + bx$.

	b	a
M1	0,74	0,88
M2	0,92	0,04
M3	1,08	-0,24
M4	0,99	0,19

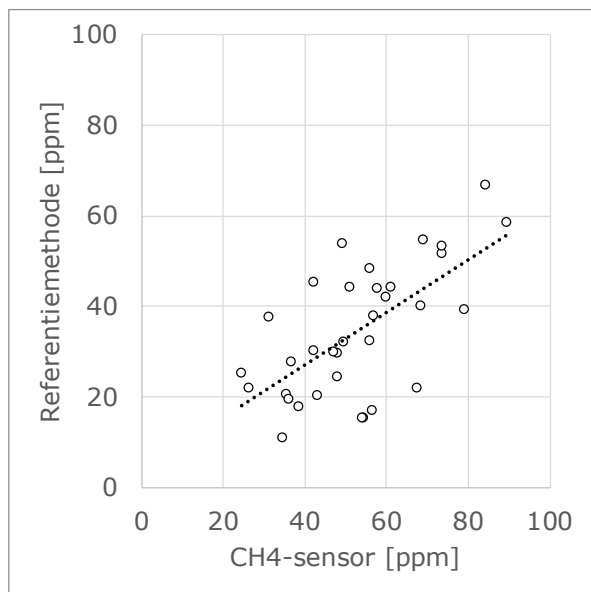
Tabel 15 Orthogonale regressie.

Parameter	Waarde	Criteria	Voldoet?
b (C1')	1,01	> 0,95 < 1,05	Ja
a (C0')	0,06	< 0,12	Ja
r	0,98	≥ 0,97	Ja

Voorbeeld 5: CH₄-sensoren voor metingen bij melkveelocaties

In onderstaande figuur worden simultane metingen met CH₄-sensoren en de referentiemethode op vier melkveelocaties grafisch weergegeven. Totaal over alle vier locaties zijn 37 metingen uitgevoerd.

Per sensor (en ook per locatie, aangezien de sensor de hele tijd op dezelfde locatie is gebleven) is een regressielijn opgesteld (zie tabel hieronder). De regressielijnen zijn voor de verschillende sensoren niet vergelijkbaar, waardoor momenteel per sensor (en niet per sensortype) een afzonderlijke kalibratie wordt vereist. Met de verkregen dataset is volgens de methode in paragraaf 4.2 de gelijkwaardigheid getoetst. Voor het toetsingscriterium s_R/SRM_{gem} is een waarde van 5% toegepast. Op basis van de orthogonale regressieresultaten (voor alle punten van alle 4 locaties) wordt geconcludeerd dat de methode niet gelijkwaardig aan de referentiemethode is (zie tabel hieronder).



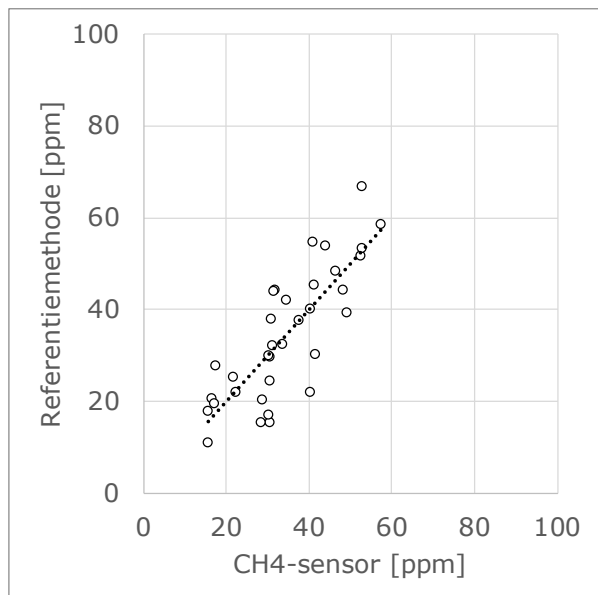
Tabel 16 Regressielijn $y = a + bx$.

	b	a
M1	0,38	12,49
M2	0,75	-9,91
M3	0,82	-15,67
M4	0,36	26,26

Tabel 17 Orthogonale regressie.

Parameter	Waarde	Criteria	Voldoet?
b (C1')	0,86	> 0,95 < 1,05	Nee
a (C0')	10,4	< 1,7	Nee
r	0,80	≥ 0,97	Nee

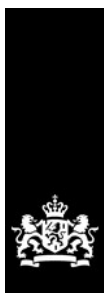
Omdat de sensoren niet voldeden is als volgende stap een veldkalibratie uitgevoerd op basis van dezelfde dataset. Vervolgens zijn met de verkregen kalibratielijn (per sensor/locatie) de sensor-data gecorrigeerd, en is opnieuw de gelijkwaardigheid van de sensor-methode (met veldkalibratielijn) beoordeeld met de procedure beschreven in paragraaf 4.1. Na deze veldkalibratie (zie hieronder) werd nog steeds niet voldaan aan de gestelde criteria voor gelijkwaardigheid.



Tabel 18 Orthogonale regressie.

Parameter	Waarde	Criteria	Voldoet?
b (C1')	1,18	> 0,95 < 1,05	Nee
a (C0')	6,0	< 1,7	Nee
r	0,87	≥ 0,97	Nee

Bijlage 3 Validatieprocedure alternatieve NH₃-concentratie meetmethoden (RVO, 2015)



Validatieprocedure voor het testen van de gelijkwaardigheid van alternatieve NH₃ – concentratie meetmethoden voor stalemissiemetingen

Inhoud

1.	Inleiding	36
2.	Normen	37
3.	Termen en definities	39
4.	Beschrijving alternatieve meetmethode	39
	4.1 Meetprincipe	39
	4.2 Prestatiekenmerken	39
	4.3 Kalibratie- en onderhoudsprocedure	40
5.	Validatiemetingen	41
	5.1 Prestatiekenmerken van AM verifiëren	41
	5.2 Toepassingsgebied en randvoorwaarden validatieprocedure vaststellen	42
	5.3 Herhaalbaarheid meetmethode valideren	42
	5.4 Gelijkwaardigheid AM en SRM valideren	44
6.	Rapport met bevindingen en aanbevelingen	45
	Literatuur	46
	Bijlage 1 Overzichtstabel van de concentratiemetingen die uitgevoerd moeten worden voor de validatieprocedure voor herhaalbaarheid van meetmethoden en gelijkwaardigheid van AM en SRM	47

1 Inleiding

In het meetprotocol voor ammoniak (Ogink e.a., 2013) is een lijst opgesteld met toegestane meetmethoden (referentiemethode, RM) voor het vaststellen van de ammoniakconcentratie en het ventilatiedebiet in stallen (Tabel 19).

Tabel 19 Toegestane meetmethodes voor vaststelling NH_3 -concentratie en ventilatiedebiet (Ogink e.a., 2013).

Meetmethoden	Omschrijving in literatuur
NH_3-Concentratie	NH_3-Concentratie
<ul style="list-style-type: none">• NO_x-monitor + NH_3 converters	<ul style="list-style-type: none">• van Ouwerkerk (1993); Bleijenberg en Ploegaert (1994); Mosquera <i>et al.</i> (2002); Anonymus (1996)
<ul style="list-style-type: none">• Fotoakoestische monitor*	<ul style="list-style-type: none">• van Ouwerkerk (1993); Mosquera <i>et al.</i> (2002); Anonymus (1996)
<ul style="list-style-type: none">• NH_3-vangsysteem (gaswasflessen, denuders)	<ul style="list-style-type: none">• van Ouwerkerk (1993); Mosquera <i>et al.</i> (2002)
<ul style="list-style-type: none">• FTIR-spectrometer	<ul style="list-style-type: none">• Mosquera <i>et al.</i> (2002)
<ul style="list-style-type: none">• Open pad TDL (laser)	<ul style="list-style-type: none">• Mosquera <i>et al.</i> (2005);
Ventilatiedebiet	Ventilatiedebiet
<ul style="list-style-type: none">• Meetventilator	<ul style="list-style-type: none">• van Ouwerkerk (1993); Bleijenberg en Ploegaert (1994); Mosquera <i>et al.</i> (2002); Anonymus (1996)
<ul style="list-style-type: none">• Geïnjecteerd tracergas	<ul style="list-style-type: none">• Mosquera <i>et al.</i> (2002)
<ul style="list-style-type: none">• Natuurlijk aanwezig tracergas (CO_2), berekend met CIGR-rekenmethodiek (2008), met inachtneming van extra CO_2 uit verwarmingssystemen	<ul style="list-style-type: none">• Mosquera <i>et al.</i> (2002); Pedersen <i>et al.</i> (2008)

* *niet toe te passen waar concentratieniveaus lager dan 2 ppm te verwachten zijn.*

Het meetprotocol laat toe om alternatieve meetmethoden (AM) te gebruiken, mits de gelijkwaardigheid van deze alternatieve methoden in termen van herhaalbaarheid en juistheid ten opzichte van een van de referentiemethoden kan worden aangetoond. Het doel van deze notitie is om binnen het kader van het genoemde meetprotocol een validatieprocedure op te stellen voor het testen van de herhaalbaarheid en de gelijkwaardigheid van alternatieve NH_3 -concentratie meetmethoden ten opzichte van een te definiëren standaard referentiemethode (SRM).

De volgende aspecten worden in deze procedure beschreven:

1. Normen en standaarden waarop deze procedure is gebaseerd (hoofdstuk 2).
2. Termen en definities (hoofdstuk 3).
3. Beschrijving alternatieve meetmethode (hoofdstuk 4).
4. Validatiemetingen: procedure en eisen voor gelijkwaardigheid van meetmethoden (hoofdstuk 5).
5. Beschrijving rapportage bevindingen en aanbevelingen (hoofdstuk 6).

2 Normen

Deze validatieprocedure maakt gebruik van de volgende documenten :

CEN/TS 14793. Stationary source emission. Intralaboratory validation procedure for an alternative method compared to a reference method.

NEN EN ISO 20988:2007 Air quality: Guidelines for estimating measurement uncertainty

NEN ISO 21748:2010 Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation.

NEN-EN 12341. Luchtkwaliteit. Bepaling van de PM10 fractie van zwevend stof. Referentiemethode en veldonderzoek om de referentie-gelijkwaardigheid aan te tonen van meetmethoden.

EN2826. Luchtkwaliteit - Uitworp van stationaire puntbronnen - Monsterneming en bepaling van het gehalte aan gasvormig ammoniak.

3 Termen en definities

In dit document worden de volgende termen en definities toegepast:

1. Alternatieve meetmethode (AM). Methode waarvan verwacht wordt dat zij gelijkwaardig is aan een van de referentiemethoden, zoals beschreven in de lijst met toegestane meetmethoden van het meetprotocol, maar waarvoor dat nog niet aangetoond is..
2. Referentiemethode (RM). Meetmethode die toegestaan is voor het meten van de concentratie van een bepaalde component onder bepaalde omstandigheden. Voor het meten van de NH₃-concentratie in huisvestingssystemen is een lijst opgesteld en gerapporteerd in het NH₃-protocol.
3. Standaard referentiemethode (SRM). Referentiemethode die gebruikt wordt om de AM te valideren.
4. Concentratiegebied. Concentratieniveaus waar de meetmethode toegepast kan worden. Dit wordt bepaald door de laagste concentratieniveau die door de meetmethode gemeten kan worden (ondergrens) en de hoogste concentratieniveau die door de meetmethode gemeten kan worden (bovengrens).
5. Drift. Verandering in de respons (concentratie) van het instrument in de tijd, onder dezelfde meetomstandigheden.
6. Responstijd. De responstijd wordt bepaald vanaf het moment dat de concentratie is aangeboden, tot het moment dat het instrument een concentratiewaarde bereikt die 90% is van de aangeboden concentratie.
7. Juistheid (trueness). De overeenstemming tussen het verwachte meetresultaat van een meting en de werkelijke meetwaarde. De meting moet een getal opleveren, dat geen systematische afwijking van de werkelijke waarde oplevert.
8. Kalibratie. Procedure opgesteld om, onder gecontroleerde omstandigheden, systematische fouten direct verbonden aan de meetmethode (bv. drift) op te sporen. Het doel van de kalibratie is de juistheid van de metingen met de meetmethode te verbeteren en systematische fouten te reduceren.
9. Precisie (precision). De overeenstemming tussen onafhankelijke meetresultaten verkregen onder voorgeschreven condities. Precisie is enkel verbonden aan toevalsfouten en geeft geen informatie over systematische afwijking van de juiste waarde. De precisie van de meetmethode kan worden bepaald door de standaarddeviatie van deze metingen te berekenen.
10. Herhaalbaarheid (repeatability). De precisie onder herhaalbaarheidscondities.
11. Herhaalbaarheidscondities (repeatability conditions). Meetcondities waarbinnen onafhankelijke meetresultaten van identieke meetobjecten worden verkregen met dezelfde meetmethode in dezelfde meetomgeving met dezelfde uitvoerder, gebruikmakend van identieke apparatuur in korte tijdsintervallen.
12. Nauwkeurigheid. De mate van overeenstemming tussen een gemeten waarde en de werkelijke waarde, in termen van juistheid en precisie. Hoe groter de nauwkeurigheid hoe kleiner de totale fout.

4 Beschrijving alternatieve meetmethode

De alternatieve meetmethode (AM) moet op basis van de beschikbare informatie afkomstig van de leverancier of producent worden beschreven. Dit om de eigenschappen van de methode te kunnen inventariseren en karakteriseren. De volgende aspecten moeten worden toegelicht:

4.1 Meetprincipe

In dit hoofdstuk moet het meetprincipe van de meetmethode worden beschreven. De volgende aspecten moeten worden toegelicht:

1. Bemonsteringsprincipe:
 - a. actieve bemonstering van lucht
 - b. passieve bemonstering van lucht
2. Bemonsteringsfrequentie:
 - a. momentopname
 - b. geaccumuleerde concentratie over tijd
 - c. semi-continue (hoge frequentie) metingen
3. Ruimtelijke dekking
 - a. punt-meting
 - b. open-pad systeem

4.2 Prestatiekenmerken

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste kenmerken en onzekerheidsbronnen van de alternatieve methode (AM) wat betreft concentratiebepalingen weergegeven. De volgende aspecten moeten worden toegelicht:

1. Concentratiegebied.
2. Juistheid.
3. Herhaalbaarheid
4. Bemonsteringstijd.
5. Responstijd.
6. Drift van het instrument.

In het rapport moet ook worden aangegeven of interferenties met andere gassen / luchtverontreiniging componenten (mogelijk aanwezig in de stallucht die bemonsterd zal worden) te verwachten zijn. Dit moet beargumenteerd worden, alsmede hoe de AM met deze interferenties omgaat.

Andere factoren die voor de AM van belang zijn om de concentratiebepaling goed te kunnen uitvoeren, moeten in dit hoofdstuk worden vermeld. Voorbeelden hiervan zijn:

- a. Als het meetprincipe van de AM gebaseerd is op het accumuleren van het gas gedurende een bepaalde meetperiode (om dit monster daarna in het lab te laten analyseren), moet een schatting worden gemaakt van de minimum bemonsteringstijd nodig om de concentratie nauwkeurig in het lab te kunnen bepalen. Hetzelfde geldt voor de bovengrens (maximum bemonsteringstijd) zodat het instrument niet overbelast wordt.
- b. Wanneer de kans bestaat op absorptie van het gas op bepaalde onderdelen van de instrumenten gebruikt in de AM, moeten de stappen die nodig zijn om dit te kunnen voorkomen worden vermeld.
- c. Voor actieve samplers is de bepaling van de hoeveelheid lucht die bemonsterd wordt van groot belang. Aangegeven moet worden hoe dit in de AM wordt geregeld.

-
- d. Voor passieve samplers kunnen meteorologische omstandigheden (zoals windsnelheid, temperatuur, vocht of druk) de concentratiebepaling sterk beïnvloeden. Toegelicht moet worden hoe de AM hier rekening mee houdt.
 - e. Andere externe factoren, die de concentratiebepaling ook zouden kunnen beïnvloeden, moeten in dit hoofdstuk worden vermeld.

4.3 Kalibratie- en onderhoudsprocedure

Voor de alternatieve methode (AM) moet een kalibratieprocedure worden opgesteld. In de kalibratieprocedure moeten de verschillende stappen worden toegelicht die toegepast moeten worden om voor systematische verschillen in concentratie tussen de waarden gemeten met de AM en de werkelijke concentratie te kunnen corrigeren. De kalibratie moet voor alle concentratieniveaus in het verwachte toepassingsgebied (zie hoofdstuk 3) gebruikt kunnen worden.

Daarnaast moet beschreven worden welke stappen nodig zijn om de AM gebruiksklaar voor metingen te kunnen maken. De frequentie en mate van onderhoud van de AM moet ook in dit hoofdstuk worden toegelicht.

5 Validatiemetingen

De validatie wordt uitgevoerd door de alternatieve methode te vergelijken met de SRM. Als SRM wordt de referentiemethode gebaseerd op een NH₃-vangsysteem met gaswasflessen voorgeschreven. Voor open-pad methodes wordt over de meetlengte een verzamelleiding toegepast die naar de SRM voert.

Deze leiding dient te bestaan uit meerdere kritische openingen met voorgeschakeld filter. Minimaal per 10 m leiding dient een kritische opening geplaatst te zijn. Op deze wijze wordt een volume proportioneel monster genomen over het gehele meetvlak. De SRM dient te voldoen aan de volgende wijze van uitvoering en de volgende prestatiekenmerken:

- De monsternamelleiding die de lucht van het meetpunt naar de SRM leidt dient van PTFE (Teflon) of PE (Polyethyleen) te worden gemaakt. De leidingen moeten worden geïsoleerd en verwarmd wanneer condensatie een probleem zou kunnen worden (niet van toepassing op natuurlijk geventileerde stallen). De leidingen moeten met de te bemonsteren lucht worden doorgespoeld.
- De lucht dient door de meetopstelling met impingers te worden geleid, waarbij NH₃ wordt opgevangen
- De opstelling bestaat uit 3 impingers met zuur. Het gehalte in de laatste mag maximaal 5% van het totaal bedragen, anders dient geconcludeerd te worden dat er doorslag heeft plaatsgevonden.
- Om doorslag naar de pomp te voorkomen wordt de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger(impinger zonder vloeistof) geleid.
- Er moet rekening gehouden worden met het naspoelen van de leidingen van de impingers.
- Kritische capillairen worden toegepast om een continue luchtstroom door de impingers te leiden.
- De luchtstroom door de impingers moet minimaal voor het begin van de meting en na afloop van de meting worden bepaald met behulp van een gekalibreerde flowmeter of gekalibreerde gasvolumemeter.
- De bemonsteringsduur moet minimaal 24 uur zijn om aan de eisen van het meetprotocol voor ammoniak te voldoen.
- De SRM metingen moeten in duplo worden uitgevoerd.

De procedure voor de validatie van de alternatieve meetmethode (AM) wordt in drie fasen uitgevoerd:

1. Prestatiekenmerken van de AM (zoals beschreven in hoofdstuk 4.2) verifiëren.
2. Toepassingsgebied en randvoorwaarden validatieprocedure vaststellen.
3. Test voor het valideren van de herhaalbaarheid van de AM en de gelijkwaardigheid van de AM en de referentiemethode (SRM) aan de hand van vastgestelde criteria..

5.1 Prestatiekenmerken van AM verifiëren

In hoofdstuk 4. 2 zijn de belangrijkste prestatie-parameters van de AM geïnventariseerd. Het is de verantwoordelijkheid van de meetinstantie om deze prestatiekenmerken te verifiëren. Dit kan door in het lab onder gecontroleerde omstandigheden deze eigenschappen opnieuw te gaan bepalen.

De alternatieve meetmethode (AM) kan in het lab onder gecontroleerde omstandigheden worden vergeleken met de referentiemethode (SRM). Echter, validatietests in het lab zijn niet voldoende om de gelijkwaardigheid van de AM en de SRM aan te kunnen tonen. De concentratiemetingen kunnen in praktijkomgevingen worden beïnvloed door interactie met verschillende gassen en/of andere verontreinigende stoffen, aanwezig in de stallucht. Daarom is het noodzakelijk om de validatiemetingen ook in de praktijk uit te voeren.

5.2 Toepassingsgebied en randvoorwaarden validatieprocedure vaststellen.

Dit betreft het vaststellen van de concentratieniveaus en meetomstandigheden waar de AM toegepast zou kunnen worden. Dit is afhankelijk van o.a. diercategorie, huisvestingssysteem en productiestadium.

Randvoorwaarden voor validatieprocedure:

- a) De omstandigheden waaronder validatiemetingen worden uitgevoerd moeten representatief zijn voor zowel normale als extreme meetomstandigheden die in de praktijk te meten zijn. Het is de verantwoordelijkheid van de meetinstantie om te verifiëren dat de AM voor al deze verschillende meetomstandigheden getest wordt.
- b) Om de herhaalbaarheid van de metingen te valideren moeten de metingen in duplo worden uitgevoerd. Dit kan door twee gelijke samplers/instrumenten tegelijkertijd in te zetten, of (indien mogelijk) door de luchtmonster via twee verschillende kanalen aan het instrument te bieden en tegelijkertijd te meten.
- c) Voor de vergelijking tussen de meetresultaten van de AM en de SRM, waarbij de meetmethode (AM of SRM) gebaseerd is op het accumuleren van het gas gedurende een bepaalde meetperiode en daardoor alleen een gemiddelde concentratiewaarde geeft voor die meetperiode, moeten de metingen in duplo worden uitgevoerd.
- d) De instrumenten/samplers moeten tegelijkertijd lucht uit dezelfde monsternamelpunt (achtergrond of stallucht) aangeboden te krijgen. Het is de verantwoordelijkheid van de meetinstantie om te verifiëren dat aan deze eisen wordt voldaan.
- e) De validatiemetingen moeten over de gehele reeks van concentratieniveaus worden uitgevoerd, om systematische fouten die afhankelijk zijn van het concentratieniveau uit te kunnen sluiten. Het is de verantwoordelijkheid van de meetinstantie om te verifiëren dat het juiste concentratiegebied wordt gekozen.
- f) Het is toegestaan om verschillende datasets (met validatiemetingen) te gebruiken afkomstig van verschillende experimenten op verschillende meetlocaties met verschillende concentratieniveaus.
- g) De verkregen datasets dienen te worden gecontroleerd op uitbijters in de waargenomen relatieve verschillen tussen AM en SRM, door middel van de boxplot-methode met driemaal de IKA-waarde (interkwartiel-afstand) als maat voor uitbijter (referentie volgt).
- h) Er dienen minimaal 30 bruikbare metingen, na controle op uitbijters, beschikbaar te zijn voor het vaststellen van de herhaalbaarheid en de vergelijking met de SRM. De volgende verdeling van de metingen wordt vereist:
 - 30% van de metingen moeten in het onderste concentratiegebied (<1ppm) worden uitgevoerd
 - De rest van de metingen moeten over het concentratiegebied > 1ppm evenredig worden verdeeld

5.3 Herhaalbaarheid meetmethode valideren

Deze test wordt uitgevoerd om de herhaalbaarheid van metingen met de meetmethode onder gelijkwaardige omstandigheden te valideren. Om de herhaalbaarheid/nauwkeurigheid van toepassing van gelijke meetinstrumenten te valideren moeten de volgende stappen worden uitgevoerd:

1. Bepaal voor alle experimenten ($i=1\dots n$) de gemiddelde concentratie (Y_i):

$$Y_i = \frac{(Y_{i1} + Y_{i2})}{2}$$

2. Bepaal, voor de experimenten met een gemiddelde concentratie $Y_i < 1$ ppm, de tweezijdig 95%-betrouwbaarheidsinterval van de metingen op absoluut niveau ($CL_{95\%}^a$) door:

- a. Het aantal experimenten (n_{laag}) te selecteren. Zoals aangegeven in hoofdstuk 3.2. moet dit aantal minimaal 30% van de totale metingen/experimenten bedragen.
- b. Bepaal voor deze experimenten, het verschil in concentratie (D_i) tussen sampler 1 en 2:

$$D_i = (Y_{i1} - Y_{i2})$$

- c. Bepaal de absolute standaarddeviatie (S_a) van de metingen:

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{laag}} D_i^2}{2 * n_{laag}}}$$

- d. Bepaal de kritische t-waarde ($t_{f;95\%}$) voor een tweezijdige t-toets met $f=n_{laag}-2$ vrijheidsgraden en een 95%-betrouwbaarheidswaarde.
- e. Het tweezijdig 95%-betrouwbaarheidsinterval van de metingen op absoluut niveau ($CL_{95\%}^a$) kan dan op de volgende wijze worden berekend:

$$CL_{95\%}^a = S_a * t_{f;95\%}$$

3. Bepaal, voor de experimenten met een gemiddelde concentratie $Y_i > 1$ ppm, het tweezijdig 95%-betrouwbaarheidsinterval van de metingen op relatief niveau ($CL_{95\%}^r$) door:

- a. Het aantal experimenten (n_{hoog}) te selecteren. Zoals aangegeven in hoofdstuk 3.2. moeten deze experimenten evenredig verdeeld zijn over het concentratiegebied dat gevalideerd moet worden.
- b. Bepaal voor deze experimenten, het verschil in concentratie (D_i) tussen instrument/sampler 1 en 2:

$$D_i = (Y_{i1} - Y_{i2})$$

- c. Bepaal de relatieve standaarddeviatie (S_r) van de metingen:

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{hoog}} \left(\frac{D_i}{Y_i} \right)^2}{2 * n_{hoog}}}$$

- d. Bepaal de kritische t-waarde ($t_{f;95\%}$) voor een tweezijdige t-toets met $f=n_{hoog}-2$ vrijheidsgraden en een 95%-betrouwbaarheidswaarde.
- e. Het tweezijdig 95%-betrouwbaarheidsinterval van de metingen op relatief niveau ($CL_{95\%}^r$) kan dan op de volgende wijze worden berekend:

$$CL_{95\%}^r = S_r * t_{f;95\%}$$

Criteria voor acceptatie (herhaalbaarheid AM):
<ol style="list-style-type: none"> 1. Voor een gemiddelde concentratie $Y_i < 1$ ppm: het betrouwbaarheidsinterval (zoals hierboven beschreven) moet kleiner zijn dan 0,2 ppm. 2. Voor een gemiddelde concentratie $Y_i > 1$ ppm: het betrouwbaarheidsinterval (zoals hierboven beschreven) moet kleiner zijn dan 0,2 (20%).

5.4 Gelijkwaardigheid AM en SRM valideren

Deze test wordt uitgevoerd om aan te kunnen tonen dat de AM en de SRM gelijkwaardige resultaten opleveren in het concentratiegebied waar de validatie is uitgevoerd. De nulhypothese in deze test is dat de concentraties die gemeten zijn met beide methoden (AM en SRM) gelijk zijn. Dit zou betekenen dat een lineaire regressie van de concentraties met de AM en de SRM methode ($y = a + b \cdot x$) zou moeten leiden tot een helling $b=1$ en een afsnijpunt $a=0$. Om deze hypothese te valideren moeten de volgende stappen worden uitgevoerd:

1. Maak een lineaire regressie ($y = a + b \cdot x$) van de concentraties met de AM (Y_{ij}) en de SRM (X_{ij}), en bepaal de volgende parameters:
 - a. Afsnijpunt
 - b. Helling
 - c. Determinatiecoëfficiënt (R^2)
2. Bepaal de tweezijdig acceptatie-intervallen:
 - a. $y = (x \pm 0,2)$ ppm voor gemiddelde SRM concentraties < 1 ppm
 - b. $y = 0,8 \cdot x$ ppm en $y = 1,2 \cdot x$ ppm voor gemiddelde SRM concentraties > 1 ppm
3. Maak een grafiek met de volgende informatie:
 - a. De waarden (y_{i1}, y_{i2}) gemeten met de AM vs. de gemiddelde waarde (x_i) van de SRM dat tegelijkertijd met de AM werd gebruikt (dus de waarden (y_{i1}, x_i) en (y_{i2}, x_i))
 - b. De lijn die de nulhypothese vertegenwoordigt ($y=x$)
 - c. De geschatte lineaire regressie ($y = a + b \cdot x$)
 - d. De tweezijdig acceptatie-intervallen

Criteria voor acceptatie (gelijkwaardigheid AM en SRM):
--

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. $R^2 \geq 0,95$.2. De geschatte lineaire regressie wordt begrensd binnen de grenzen van de acceptatie-intervallen. |
|---|

6 Rapport met bevindingen en aanbevelingen

De resultaten van de validatiemetingen moeten in een openbaar rapport worden gepresenteerd. Het rapport bevat de volgende hoofdstukken:

1. Inleiding. In dit hoofdstuk wordt de aanleiding, context en motivatie voor de validatiemetingen weergegeven.
2. Materiaal en methoden. Dit hoofdstuk bevat de volgende onderdelen:
 - a. Meetinstantie. Informatie (minimaal naam en adres) van de meetinstantie die de validatiemetingen heeft uitgevoerd.
 - b. Meetmethode. Beschrijving van de alternatieve meetmethode die gevalideerd moet worden (zie hoofdstuk 4).
 - c. Validatiemetingen. Informatie over de toegepaste validatieprocedure, met inbegrip:
 - Beschrijving van de meetlocaties, inclusief:
 - Huisvestingssysteem
 - Diercategorie
 - Management (o.a. ventilatieregime)
 - Aantal metingen per locatie
3. Resultaten en discussie. De volgende onderdelen moeten worden besproken:
 - a. Resultaten van de test om de herhaalbaarheid van de AM te valideren (Bijlage 1).
 - Meetomstandigheden
 - Dag in jaar
 - Dag in productieronde
 - Temperatuur en luchtvochtigheid
 - Ventilatie-debiet en/of windsnelheid
 - Concentratie-metingen
 - Resultaten validatietest
 - b. Resultaten van de test om de gelijkwaardigheid van de AM en SRM te valideren (conform Bijlage 1).
 - Meetomstandigheden
 - Dag in jaar
 - Dag in productieronde
 - Temperatuur en luchtvochtigheid
 - Ventilatie-debiet en/of windsnelheid
 - Concentratie-metingen
 - Resultaten validatietest
4. Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk moet worden aangegeven of de AM voldoet aan de eisen van de validatieprocedure. Dit moet beargumenteerd worden op basis van de resultaten gepresenteerd in hoofdstuk 3, en samengevat in een tabel:

Validatietest	Parameter	Criteria	Gemeten waarde	Toegestaan
Herhaalbaarheid	$CL_{95\%}^a$	$C < 1\text{ppm}$ $CL_{95\%}^a < 0,2\text{ ppm}$	$CL_{95\%}^a =$	Ja/Nee
	$CL_{95\%}^r$	$C > 1\text{ppm}$ $CL_{95\%}^r < 0,2\text{ (20 \%)}$	$CL_{95\%}^r =$	Ja/Nee
Gelijkwaardigheid	R^2	$R^2 > 0,95$	R^2	Ja/Nee
	Acceptatie-intervallen	Begrenzing	Acceptatie-intervallen	Ja/Nee

Literatuur

- Anonymus (1996). Beoordelingsrichtlijn in het kader van Groen Label stallen, uitgave maart 1996. Publicatie van de Ministeries van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- Bleijenberg, R. en Ploegaert, J.P.M. (eds.) (1994). Handleiding meetmethode ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen: Apparatuur, installatie en gegevensverwerking. Wageningen, IMAGDLO report 94-1.
- Mosquera, J., P. Hofschreuder, J.W. Erisman, E. Mulder, C.E. van 't Klooster, N. Ogink, D. Swierstra en N. Verdoes (2002). Meetmethode gasvormige emissies uit de veehouderij. Wageningen, IMAG rapport 2002-12.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol en P. Hofschreuder (2005). Gasvormige emissies uit het melkveebedrijf van de familie Spruit III. Mestopslag buiten de stal. Wageningen, A&F Rapport 566.
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera en J.M.G. Hol (2011). Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013. Lelystad, Wageningen UR Livestock Research, Rapport 726.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, M. J. W. Heetkamp, and A. J. A. Aarnink. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal*. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December, 2008.
- Van Ouwerkerk, E.N.J. (ed) (1993). Meetmethode NH₃-emissies uit stallen, Werkgroep 'Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen'. Wageningen, DLO, Onderzoek inzake de mest en ammoniakproblematiek in de veehouderij nr. 16.

Bijlage 1 Overzichtstabel van de concentratiemetingen die uitgevoerd moeten worden voor de validatieprocedure voor herhaalbaarheid van meetmethoden en gelijkwaardigheid van AM en SRM

Tabel 20 Meetomstandigheden.

Diercategorie	Locatie	Meetpunt	Meting	Datum	Dag in het jaar	Dag in ronde	Aantal dieren	Temperatuur [°C]	Luchtvochtigheid [%]	Ventilatie-debiet [m ³ /uur]
DC1	L1	Stal	1	dd-mm-jj	DY ₁	DR ₁	N ₁	y ₁₁	y ₁₂	x ₁₁
DC1	L1	Stal	2	dd-mm-jj	DY ₂	DR ₂	N ₂	y ₂₁	y ₂₂	x ₂₁
DC1	L1	Stal	3	dd-mm-jj	DY ₃	DR ₃	N ₃	y ₃₁	y ₃₂	x ₃₁
...	...	...	...	dd-mm-jj	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	dd-mm-jj	...	...	...	...	...	...
DC1	L1	Stal	i	dd-mm-jj	DY _i	DR _i	N ₄	y _{i1}	y _{i2}	x _{i1}
...	...	...	...	dd-mm-jj	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	dd-mm-jj	...	...	...	...	...	...
DC1	L1	Stal	n	dd-mm-jj	DY _n	DR _n	N _n	y _{n1}	y _{n2}	x _{n1}

Tabel 21 Concentratiemetingen.

	Diercategorie	Meetpunt	Meting	Datum	Dag in het jaar	Dag in ronde	Concentraties AM		Concentraties SRM	
							Sampler 1		Sampler 2	
DC1	L1	Stal	1	dd-mm-jj	DY ₁	DR ₁	y ₁₁	y ₁₂	x ₁₁	x ₁₂
DC1	L1	Stal	2	dd-mm-jj	DY ₂	DR ₂	y ₂₁	y ₂₂	x ₂₁	x ₂₂
DC1	L1	Stal	3	dd-mm-jj	DY ₃	DR ₃	y ₃₁	y ₃₂	x ₃₁	x ₃₂
...	...	...	...	dd-mm-jj	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	dd-mm-jj	...	...	...	...	...	...
DC1	L1	Stal	i	dd-mm-jj	DY _i	DR _i	y _{i1}	y _{i2}	x _{i1}	x _{i2}
...	...	...	...	dd-mm-jj	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	dd-mm-jj	...	...	...	...	...	...
DC1	L1	Stal	n	dd-mm-jj	DY _n	DR _n	y _{n1}	y _{n2}	x _{n1}	x _{n2}

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

