Notitie: inhoudelijke reactie op het document ‘Evaluatie van ammoniak metingen met sensoren in gesloten stalsystemen’

Wageningen, 12 augustus 2025

Auteurs
Ir. J. (Jan) Vonk
Dr. ir. A. (Albert) Winkel
Wageningen Livestock Research

Gereviewed door:
Dr. ir. N.W.M. (Nico) Ogink
Wageningen Livestock Research

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Op 20 en 24 december 2024 hebben de gemeenten Berkelland en Oost Gelre een omgevingsvergunning verleend voor respectievelijk het oprichten van een varkensstal aan de Voort 1 te Neede en het oprichten van twee varkensstallen aan de Kamperweg 3 te Vragender. Het gaat in beide gevallen om een zogenaamde 'doelvoorschriftvergunning' waarin waarbij aansluiting wordt gezocht bij de systematiek van doelsturing. In de vergunningen is een maximale ammoniakemissie als voorschrift opgenomen en moet de gerealiseerde emissie met (sensor)meetsystemen worden gemonitord (emissiemonitoring). Motivaties van overheden en agrarische sector om deze weg in te slaan zijn onder andere dat gassensoren voor ammoniak de afgelopen jaren betrouwbaarder en betaalbaarder zijn geworden, dat emissies uit agrarische bronnen met een grotere mate van zekerheid worden bepaald en agrariërs kunnen gaan sturen op het realiseren van lage emissies. Bij beide vergunningen zal de emissie van ammoniak worden gemonitord met gassensoren en andere meetsystemen volgens een meetplan opgesteld door ingenieursbureau Tauw te Deventer. Tegen beide vergunningen is een beroep ingesteld bij de Rechtbank Gelderland. Onderdeel van de beroepschriften is het document 'Evaluatie van ammoniak metingen met sensoren in gesloten stalsystemen' van de Stichting Leefbaar Buitengebied Gelderland (SLBG), versie 2 van 23 januari 2025. De overheden betrokken bij de vergunningen (het college van burgemeester en wethouders van de gemeente Berkelland, het college van burgemeester en wethouders van de gemeente Oost Gelre en het college van gedeputeerde staten van Gelderland) hebben Wageningen Livestock Research verzocht het document van SLBG van een inhoudelijke reactie te voorzien vanuit wetenschappelijk en technisch perspectief.

1.2 Bredere context

Het verzoek van voornoemde overheden hebben we in behandeling genomen vanuit de rol van 'Landelijk coördinator emissiemonitoring' voor het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN). Deze rol is – tezamen met de rollen van coördinatoren rond datagebruik en juridische aspecten van doelvoorschriftvergunningen – aangekondigd in een Tweede Kamer brief van minister Adema van 25 november 2022 [1]. De rol is ondergebracht in het Regieorgaan 'Versnellen innovatie emissiereductie duurzame veehouderij' dat van start is gegaan na ondertekening van een convenant op 4 december 2023 [2]. De voortgang van deze aanpak gericht op doelvoorschriftvergunningen en emissiemonitoring is gegeven in een Tweede Kamer brief van ministers Adema en Van der Wal van 23 januari 2024 [3]. De rol wordt ingevuld door een team van wetenschappelijke en technische experts onder leiding van Albert Winkel van Wageningen Livestock Research (WLR). De rol moet voorzien in zaken die overkoepelend of overstijgend zijn aan individuele projecten (fieldlabs, praktijkpilots, proeftuinen), provincies of gemeenten (beleid, subsidieregelingen, vergunningen). Het gaat onder andere om het produceren van een landelijk protocol (WLR Rapport 1525: Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024) dat beschrijft hoe emissies uit stallen in het kader van een doelvoorschriftvergunning op een wetenschappelijk valide manier kunnen worden gemonitord, het uitvoeren van lab- en praktijkonderzoek naar gassensoren om de kwaliteit en beschikbaarheid van gassensoren te vergroten, en het geven van technisch of wetenschappelijk advies aan stakeholders. Het ministerie van LVVN heeft aan WLR gevraagd om binnen de opdracht de meetplannen van de eerste circa dertig aanvragen voor doelvoorschriftvergunningen – waar gewenst door het bevoegd gezag – te voorzien van een beoordeling of advies. Het doel daarvan is om bij te dragen aan vergunningen waarvan de technische en wetenschappelijke aspecten van een zo hoog mogelijke kwaliteit zijn.

---

[1] https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/11/25/toekomst-bevorderen-innovatie-van-emissiearme-stalsystemen. Zie pagina's 6-7.

[2] https://www.rijksoverheid.nl/documenten/convenanten/2023/12/04/regie-om-sneller-te-innoveren-naar-een-duurzame-veehouderij.

[3] https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2024Z00907&did=2024D02159. Zie pagina's 6-8.

Binnen de beschreven context is in 2024 een beoordeling uitgevoerd van de eerder genoemde meetplannen van ingenieursbureau Tauw. Conceptversies van de meetplannen zijn beoordeeld en de uitkomsten en adviezen daarvan teruggekoppeld aan Tauw via schriftelijke reacties en online overleg. Daarna zijn door Tauw eindversies opgesteld. Deze zijn echter nog een keer aangepast vanwege de publicatie van versie 2 van het rapport 'Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen' (WLR Rapport 1525: Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024).

Met brieven van 16 april 2024 (kenmerk AW/mek/2410746 en kenmerk AW/mek/2410747) en 10 december 2024 (kernmerk AW/mek/2434864 en kenmerk AW/mek/2434866) heeft WLR aan de gemeente Berkelland en de provincie Gelderland aangegeven dat het meetplan is beoordeeld als geschikt om de emissie van ammoniak uit de varkensstal in Neede op een juiste wijze te monitoren.

Met brieven van 16 april 2024 (kenmerk AW/mek/2410750 en kenmerk AW/mek/2410752) en 10 december 2024 (met kenmerk AW/mek/2434871 en kenmerk AW/mek/2434876) heeft WLR aan de gemeente Oost Gelre en de provincie Gelderland aangegeven dat het meetplan is beoordeeld als geschikt om de emissie van ammoniak uit de varkensstallen in Vragender op een juiste wijze te monitoren.

1.3 De essentie van het document van SLBG

In het document 'Evaluatie van ammoniak metingen met sensoren in gesloten stalsystemen' van de Stichting Leefbaar Buitengebied Gelderland (SLBG) versie 2 van 23 januari 2025 wordt de vraag centraal gesteld "*of de actuele stand van de wetenschap volstaat om kwantitatief betrouwbare resultaten te produceren met sensor technologie in een gesloten stal omgeving, gegeven de huidige technische hard- en software mogelijkheden*". Deze vraag wordt beantwoord door een evaluatie van a) een zestal technische kenmerken van (elektrochemische) gassensoren (gevoeligheid, lineariteit, meetnauwkeurigheid, selectiviteit, kalibratie, levensduur), b) de meetnauwkeurigheid van ventilatie, c) fraudegevoeligheid, en d) de totale nauwkeurigheid van emissiewaarden. De evaluatie bestaat onder andere uit een duiding van informatie uit literatuur, informatie over werkingsmechanismen en technische eigenschappen van sensoren, en verkennende berekeningen. Op basis van de evaluatie komt het document tot de conclusie dat de huidige generatie elektrochemische sensoren niet geschikt is voor het produceren van ammoniakmeetresultaten van voldoende kwaliteit en daarom (nog) geen houdbaar juridisch alternatief zijn voor gesloten stalsysteem vergunningen.

1.4 Doel en afbakening van deze notitie

Het doel van deze notitie is om het document 'Evaluatie van ammoniak metingen met sensoren in gesloten stalsystemen' van de Stichting Leefbaar Buitengebied Gelderland (SLBG) versie 2 van 23 januari 2025 van een inhoudelijke reactie te voorzien vanuit wetenschappelijk en technisch perspectief. De reactie richt zich op de steekhoudendheid van de evaluatie en de getrokken conclusie.

De onderhavige notitie richt zich nadrukkelijk niet op de vraag of emissiemonitoring met gassensoren in stallen als onderdeel van een zogenaamde doelvoorschriftvergunning juridisch houdbaar is. Die vraag, op een hoger systeemniveau, maakt deel uit van de nu lopende beroepsprocedures ten aanzien van de twee vergunningen genoemd in deze notitie.

Hoewel het verzoek tot deze notitie met inhoudelijke reactie van het bevoegd gezag is gekomen, is deze notitie gericht op de zaak en het ondersteunen van de rechtspraak in de zaak. De onderhavige notitie is nadrukkelijk niet bedoeld om een partij in de zaak te ondersteunen in het bereiken van zijn of haar belang. De notitie is gericht op het verschaffen van duidelijkheid over de wetenschappelijke en technische aspecten van deze beroepszaak in het bijzonder en vergelijkbare situaties in generieker zin. Wageningen Livestock Research (Stichting Wageningen Research) heeft zich als TO2 kennisinstituut gecommitteerd aan de *Netherlands Code of Conduct for Research Integrity* van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) waarin *independence* (onafhankelijkheid) één van de vijf basisprincipes is. Deze notitie is opgesteld vanuit een onafhankelijke neutrale positie, zoals ook de rol van landelijk coördinator emissiemonitoring ingevuld wordt.

1.5 Methode

De steekhoudendheid van de evaluatie en de daaruit getrokken conclusie in het document van SLBG is beoordeeld aan de hand van:

- kennis uit literatuur over het onderwerp, waaronder rapportages over meetcampagnes met gassensoren in stallen (zie 4. Bronnen);
- kennis van werkingsmechanismen en technische eigenschappen van gassensoren;
- kennis over de wijze waarop stalgebouwen en ventilatiesystemen zijn ontworpen en over de wijze van het management in stallen;
- resultaten en inzichten van het lopende onderzoek op de drie sensoronderzoekslocaties binnen het landelijk coördinatorschap emissiemonitoring;
- kennis en ervaring van de auteurs.

2. Inhoudelijke bespreking

In dit hoofdstuk wordt per kopje van de evaluatie, een bespreking gegeven van de daarin aangedragen (discussie-)punten, in deze notitie genummerd A tot en met R.

Kopje '2.2 Gevoeligheid en lineariteit'

A.
"in de geraadpleegde literatuur zijn de gevoeligheids- en lineariteitstesten hoofdzakelijk uitgevoerd onder laboratorium condities met gedefinieerde schone gasmengsels."

In de raadpleging zijn gevoeligheids- en lineariteitstesten gemist die onderdeel uitmaken van verschillende publicaties. In publicaties van WLR waarin gassensoren zijn ingezet om emissies uit stallen continu te monitoren worden er ook metingen uitgevoerd met de standaard referentiemethode (SRM) voor het betreffende gas waardoor de nauwkeurigheid van sensoren onder praktijkcondities kan worden onderzocht. Voor ammoniak is dat de methode zoals beschreven in NEN-EN-ISO 21877:2019 en NEN 2826:1999, zoals beschreven en verder verfijnd voor veehouderijmetingen in hoofdstuk A7.2 van WLR Rapport 1525 (Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024). De SRM wordt doorgaans ingezet tijdens zes 24-uursmonsternames per stal (sensor) en jaar. De SRM metingen worden gespreid over het jaar (seizoenen) en de productiecyclus van de dieren. Daarmee wordt beoogd zowel lage als hoge concentraties in te vangen bij een representatief praktijkgasmengsel, inclusief waterdamp en potentieel interfererende gassen. De SRM meting wordt doorgaans in duplo uitgevoerd waarbij het gemiddelde van de duplo als 'werkelijke waarde' wordt beschouwd. De SRM metingen gebeuren gelijktijdig en op dezelfde monsternamepositie als de sensormeting.

Met de verkregen dataparen wordt een kalibratiefunctie (lineaire regressiefunctie: $y = ax + b$) bepaald tussen sensor en SRM. In deze functie is y de waarde van de sensor, x de waarde van de SRM die aangenomen wordt als 'werkelijke waarde', a de richtingscoëfficiënt (slope), en b het snijpunt van de lijn met de y-as (intercept). Als sensor en SRM, gelijktijdig en naast elkaar ingezet, dezelfde meetwaarden opleveren, ontstaat er een kalibratiefunctie met een richtingscoëfficiënt van 1, een snijpunt door de y-as van nul (de oorsprong), en een verklaarde variantie R^2 van 1. Er is dan geen correctie nodig (en mogelijk).

Meestal is er wel sprake van een richtingscoëfficiënt die statistisch significant afwijkt van één, een snijpunt dat statistisch significant afwijkt van nul, of beide. Door nu de regressiefunctie opnieuw te laten bepalen met de SRM als y en de sensor als x wordt er een correctiefunctie verkregen. De correctiefunctie is dus de inverse van de kalibratiefunctie. Door deze correctiefunctie toe te passen op de sensorwaarden worden deze gecorrigeerd naar de SRM.

De kalibratiefunctie en de correctiefunctie kunnen bepaald worden per individuele sensor op basis van de doorgaans zes SRM metingen verspreid over jaar en productiecyclus van de dieren (n = 6 dataparen). De functies kunnen ook bepaald worden over meerdere sensoren (stallen, veehouderijen) heen; dan wordt een populatie van sensoren bij eenzelfde diersoort gekalibreerd en gecorrigeerd (bij bijvoorbeeld vier bedrijven is het aantal dataparen n dan: 4 bedrijven x 6 SRM metingen = 24).

Publicaties waarin deze methode is toegepast zijn bijvoorbeeld WLR Rapporten 1376 (Mosquera et al., 2022a), 1377 (Mosquera et al., 2022b), 1378 (Mosquera et al., 2022c), 1388 (Schep et al., 2022), 1487 (Schep et al., 2024), 1545 (Groot Wassink et al., 2025), enzovoort. Dit betekent dat er veel data beschikbaar zijn over gevoeligheid en lineariteit van gassensoren bij praktijkgasmengsels in stallen.

De data zijn meestal gepubliceerd als onderdeel van de methodologie in, of bijlage bij, de rapporten; niet zozeer als zelfstandige onderzoeksresultaten met een daarop afgestemd doel en conclusie. Op dit moment wordt er door WLR een analyse uitgevoerd van een meta-dataset met alle data van sensormetingen en SRM metingen van veel verschillende merken/typen sensoren zoals die de afgelopen circa 7 jaren zijn ingezet in studies in stallen. Als onderdeel van de opdracht van 'Landelijk coördinator emissiemonitoring' zijn er vanaf december 2023 drie sensoronderzoeksbedrijven ingericht. Dat zijn Agro-innovatiecentrum De Marke (Hengelo, Gld.) voor melkkoeien, het demobedrijf van De Hoeve Innovatie (Valkenswaard) voor varkens, en het legpluimveebedrijf Verbeek (Woudenberg) voor kippen. Op deze drie bedrijven worden reeds langer bekende, relatief nieuwe, en prototype (nog niet commercieel beschikbare) sensoren beproefd waarbij SRM metingen voor diverse gassen maandelijks plaatsvinden. Voor alle sensoren geldt dat zij eerst de labtests doorlopen zoals beschreven in Deel D van WLR Rapport 1525 (Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024). Sensoren die, na een proces van onderzoek en verbetering, voldoende blijken te presteren, worden in hun eindconfiguratie op de drie sensoronderzoeksbedrijven onderworpen aan een veldtest. Daarmee wordt een beeld verkregen van de prestaties in één stal per (hoofd)diercategorie. In Deel D van WLR Rapport 1525 wordt gesteld om een kalibratie op meerdere (minimaal vier) bedrijfslocaties uit te voeren om (deels onbekende) bronnen van variatie te includeren in het bepalen van de prestatie van een sensor. Met reeds bestaande projecten wordt samengewerkt om in die aanvullende bedrijfslocaties te voorzien. Dat zijn het 'Meten is weten' project van provincie Noord-Brabant, geleid door ingenieursbureau Witteveen+Bos, en het 'Bedrijvenmeetnetwerk' project in de regio Foodvalley, geleid door Wageningen Livestock Research. De hier beschreven onderzoekslijn zal in de komende twee jaar leiden tot publicaties die de prestaties van sensoren onder lab- en praktijkcondities als hoofdonderwerp hebben. Naar verwachting in de tweede helft van 2025 zal een eerste publicatie verschijnen over de Dräger A500 (ook commercieel verkrijgbaar als DOL51) die door de firma Dräger is ontwikkeld voor stalmetingen en metingen aan de uittredezijde van luchtwassers bij vochtige condities.

Bij emissiemonitoring in het kader van een doelvoorschriftvergunning moeten volgens WLR Rapport 1525 (Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024) gassensoren gebruikt worden die voldoen aan het prestatieniveau zoals beschreven in deel D. Dat betekent o.a. dat het meetsysteem middels een veldkalibratie is gevalideerd aan de SRM bij vier veehouderijen met zes gepaarde metingen (gassensor, SRM) per veehouderij. De correctiefunctie uit deze dataset kan worden toegepast bij de gassensoren in de stallen van bedrijven met een doelvoorschriftvergunning. Deel C beschrijft vervolgens dat er per stal (gassensor) jaarlijks minimaal twee metingen met de SRM of een equivalente methode (EM) uitgevoerd moeten worden om de juiste werking van de gassensor te controleren. WLR Rapport 1525 vermeldt hierover (p. 91): "*Wanneer het verschil tussen het meetresultaat van de gassensor en de SRM kleiner dan of gelijk is aan 10%, is geen actie vereist. Wanneer het verschil ligt tussen 10 en 20% van de SRM of EM waarde moet het meetsysteem op alle relevante aspecten worden gecontroleerd en de controlemeting op zo kort mogelijke termijn herhaald worden. Wanneer het verschil groter is dan 20% van de SRM of EM waarde moet het meetsysteem gerepareerd of vervangen worden en zo nodig opnieuw gekalibreerd. Hierna wordt opnieuw een SRM of EM meting uitgevoerd. Opgemerkt moet worden dat uit voorgaande procedure volgt dat als een continu meetsysteem herhaaldelijk niet aan de genoemde criteria voldoet er een cascade van SRM of EM metingen ontstaat waarmee geborgd wordt dat er accurate emissiemonitoring plaatsvindt.*"

B.
"*maar zonder een routinematige controle op de response lineariteit in de veldsituatie, zijn betrouwbare kwantitatieve metingen niet mogelijk.*"

Dat is juist. Om die reden stelt het rapport 'Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen' (Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024) dat een veldkalibratie leidend is.

C.
"*Daarbij valt op dat slechts een zeer beperkt concentratie gebied is gecontroleerd; nl 1 t/m 4 ppm.*"

Dat er gekalibreerd is over het bereik 1 tot 4 ppm is onjuist. De zin doelt op WLR Rapport 1376 (Mosquera et al., 2022), in het document van SLBG "Bron 5" genummerd. Mogelijk is figuur 2.4 in WLR Rapport 1376 – waarin een lineaire regressiefunctie getoond wordt over een concentratiebereik van 1 tot 4 ppm – geïnterpreteerd als alle data uit de studie. Het betreft daar echter een *voorbeeld* van een kalibratiefunctie om de werkwijze te illustreren. In Bijlage 1 zijn de daadwerkelijke data opgenomen van de SRM metingen waarop de sensoren zijn gekalibreerd en gecorrigeerd. Het concentratiegebied ingevangen met de SRM betrof 2,2 tot 17,9 ppm ammoniak.

Opgemerkt moet worden dat een veldkalibratie over een beperkt concentratiegebied niet hoeft te betekenen dat een kalibratie invalide is. Concentraties die heersen op een veehouderij en ingevangen worden in SRM metingen zijn afhankelijk van de bedrijfsuitrusting, het bedrijfsmanagement (waaronder de wijze en mate van ventilatie en de voeding van de dieren) en de leeftijd van de dieren. Als concentraties in een veehouderij laag zijn, bijvoorbeeld door toepassing van bronmaatregelen of bij jonge dieren, zal het gekalibreerd concentratiebereik inherent beperkt zijn.

Kopje '2.3 Meetnauwkeurigheid'

D.
"*Inzicht in de werkelijke foutmarge waarin allerhande interfererende matrix effecten, zoals in een stallucht matrix, zijn niet bekend, althans door ons niet tegengekomen in de literatuur.*"

Zoals beschreven onder A. worden "interfererende matrix effecten", en de "foutmarge" die daardoor ontstaat, bepaald in de veldkalibraties aan de SRM. Deze zijn in de literatuur te vinden in onder andere de zes rapporten genoemd onder A.

Kopje '2.4 Selectiviteit van elektrochemische sensoren'

E.
"*Het is bekend dat de selectiviteit bij gebruik van sensoren een van de belangrijkste limiterende factoren is.*"

Hierbij wordt een overzicht gegeven van de interferenties voor een (elektrochemische) ammoniaksensor. In de tabel wordt een respons van 30 ppm ammoniak weergegeven, indien 25 ppm H_2S (waterstofsulfide) aanwezig is. Deze stof komt in concentraties van ongeveer 1-5 ppm in varkensstallen voor (Royal GD, 2023), en zal dus leiden tot een overschatting van gemeten NH_3-concentraties. Hier tegenover staat dat zwaveldioxide (-6 ppm NH_3 bij 20 ppm SO_2) en stikstofdioxide (-7,5 ppm NH_3 bij 5 ppm NO_2) tot onderschattingen kunnen leiden. Zwaveldioxide komt in buitenlucht nog slechts in zeer lage concentraties van < 1 µg/m^3 voor (CLO, 2025a), wat zich bij 20°C en 1013 mbar laat vertalen in niveaus <0,0005 ppm. In de praktijk zal de productie van NO_2 in varkensstallen tot hooguit 0,3 ppm verhoging op de buitenluchtconcentratie leiden[4]. Hoewel het rapport terecht stelt dat interferenties elkaar ook onderling kunnen

[4] In buitenlucht is de concentratie NO_2 gemiddeld 10 µg/m^3 (CLO, 2025b). In stallen kan enige NO_2 productie optreden. Een N-excretie van 11,2 kg N/vleesvarken/jaar x 0,2% = 0,0224 kg NO_2-N x 46/14 = 0,0736 kg NO_2, wat bij een minimum ventilatie van 14 m^3/u/vleesvarken (dus in het slechtste geval) een verhoging van de concentratie met ~ 0,3 ppm betekent. Het voorgaande op basis van een omrekenfactor van 1,9125 µg/m^3 = 1 ppb NO_2 en een jaarrond ventilatie van 365 x 24 x 14 = 122.640 m^3/vleesvarken. N-excretie en emissiefactor zoals gebruikt in NEMA, en minimale ventilatie afkomstig van Klimaatplatform Varkenshouderij.

beïnvloeden, blijft overschatting van de daadwerkelijke ammoniakconcentratie het meest waarschijnlijk. De voorgaande tekst bespreekt de impact van de interferenties van een specifiek genoemde voorbeeld sensor. In algemene zin moet bedacht worden dat (enkelvoudige en interacterende) effecten van interfererende gassen in stallucht meegenomen worden in de veldkalibratie zoals beschreven onder A. Sensorwaarden worden op deze effecten gecorrigeerd.

F.
"*De huidige generatie elektro chemisch sensoren zijn (nog) niet selectief genoeg voor dit soort veld toepassingen.*"

Deze zin is onjuist. Interfererende effecten van andere gassen dan het te meten gas zijn in de praktijk hoogstwaarschijnlijk aanwezig, maar verwacht mag worden dat deze gassen in stallen door het jaar heen in ongeveer gelijke verhoudingen voorkomen zodat een veldkalibratie een valide methode is om daarvoor te corrigeren. Deze verwachting wordt bevestigd door de empirie. Uit veldkalibraties blijkt dat er elektrochemische sensoren zijn die – na het corrigeren van de gemeten waarden op basis van de veldkalibratie waarin effecten van interfererende gassen zijn geïncludeerd – goed presteren. Deze data zijn in de literatuur onder andere te vinden in de zes rapporten genoemd onder A.

Kopje '2.5 Kalibratie van elektrochemische sensoren'

G.
"*Na plaatsen in een gesloten stalomgeving worden de ammoniaksensoren vier tot zesmaal per jaar gekalibreerd via een bemonstering volgens SRM (NEN norm)methode. Deze veldcontrole is slechts een éénpunts kalibratie. Voor een statistisch betrouwbaar meetresultaat zijn minimaal een viertal kalibratiepunten in de praktijk omgeving nodig, verdeeld over het te verwachten meetgebied nodig*."

Dat het zou gaan om een éénpuntskalibratie is onjuist. Per stal (sensor) worden zes SRM metingen per stal en per jaar uitgevoerd waarover een kalibratiefunctie en correctiefunctie worden bepaald. Volgens deel C van WLR Rapport 1525 (Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024) moet een gassensor eerst voldoen aan de generieke eisen van deel D, waarvoor een veldkalibratie gebaseerd op 4 veehouderijen x 6 SRM metingen nodig is. Een goedgekeurde sensor mag daarna in de praktijk ingezet worden met 2 controlemetingen met de SRM of EM per jaar. Kwaliteit wordt daarmee via twee stappen gestuurd. Zie ook de toelichting onder A.

Kopje '2.6 Levensduur van sensoren'

H.
"*Maar iedere sensor moet via laboratorium testen gevalideerd worden en dat is specialisten werk en dus onpraktisch, bewerkelijk en duur.*"

Met deze zinsnede wordt vermoedelijk verwezen naar Deel D van WLR Rapport 1525 (Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024) waarin labtests en veldkalibratie beschreven staan. Deze dienen om de geschiktheid van een gegeven sensor (merk en type) onder zekere omstandigheden (zoals diersoort) vast te stellen en zijn eenmalig. Daarmee wordt de geschiktheid en een voldoende prestatieniveau van een sensor in generieke zin aangetoond. Wanneer een kennisinstelling of meetbureau vervolgens aantallen van dit sensormodel bestellen en geleverd krijgen, worden deze onderworpen aan een ingangscontrole en een labkalibratie met schoon ijkgas per individuele sensor. Daarna wordt de sensor ingezet in een wetenschappelijk onderzoek of een andere meetsituatie. Kennisinstellingen als Wageningen Livestock Research, TNO in Nederland, en ILVO en VITO in Vlaanderen, beschikken over de labfaciliteiten, expertise en medewerkers om dit alles uit te voeren. Sinds circa 2010-2015 zijn ook een aantal advies- en ingenieursbureaus (meetbureaus) actief geworden in het meten van stalemissies. Ook zij beschikken vaak over de benodigde labfaciliteiten, expertise en medewerkers. Dit geldt ook voor ingenieursbureau Tauw te Deventer, het beoogde meetbureau voor de vergunde situatie zoals beschreven in de inleiding.

I.
"*Bij dit type sensoren neemt de respons niet lineair in de tijd af, dit is in de praktijk een relatief onvoorspelbare grootheid en zal van batch tot batch variëren. Dat maakt het moeilijk om in een voorschrift de sensor levensduur vast te leggen.*"

De huidige elektrochemische sensoren werken niet meer met elektrolyt dat opgebruikt raakt, maar met een catalyt. Hierdoor is leeftijd van de sensor een belangrijkere factor voor de levensduur geworden dan de cumulatief gemeten hoeveelheid gas. Leveranciers baseren hun voorschriften daarom in beginsel op sensorleeftijd, inclusief een maximale opslagduur voorafgaand aan gebruik.

Kopje '3.1 Meetventilatie systemen'

J.
"*Dit type ventilator is uitgerust met een meetwaaier met een door de producent opgeven nauwkeurigheid (meestal +/-10%).*"

De genoemde waarde is aan de hoge kant. Uitgegaan moet worden van ±5% (Verfaillie et al., 2024).

K.
"Daarnaast is een gesloten stalsysteem nooit volledig dicht waardoor lekkage de meetnauwkeurigheid van het ventilatiedebiet negatief beïnvloed wordt."

De gevolgtrekking in de zin is onjuist. Mechanisch geventileerde stallen voor varkens en pluimvee werken op onderdruk. Werkventilatoren zuigen lucht uit de stal en stuwen dat naar buiten. Door de onderdruk in de stal wordt er frisse lucht van buiten aangezogen door de daartoe bedoelde inlaatopeningen. Wanneer er op onbedoelde punten lucht de stal ingezogen zal worden, verlaat dit alsnog via de ventilator de stal.

L.
"De enige betrouwbare meting van het ventilatie debiet is de tracergas ratio methode."

De geciteerde bewering is onjuist. Er wordt verwezen naar Mosquera et al. (2008). In deze publicatie worden verschillende methoden vergeleken voor het bepalen van emissies uit buitenuitlopen bij stallen. Alvorens die methoden in buitenuitlopen toe te passen ('praktijkperiode'), werden ze in een 'testperiode' ingezet in een mechanisch geventileerde afdeling waarvan het ventilatiedebiet met een meetwaaier kon worden vastgesteld. In de publicatie wordt de meetwaaier als referentiemethode gebruikt waarmee de tracergasratiomethode (maar dan met zwavelhexafluoride (SF_6) als tracergas) wordt vergeleken (zie par. 2.2 en 3.1 in Mosquera et al., 2008). Meetventilatoren worden binnen de wetenschappelijke discipline van klimatisering en luchtemissies in de agrarische sector gezien als een nauwkeurige methode voor het meten van het ventilatiedebiet en de tracergasratiomethode evenzo, mits de inputvariabelen voor deze methode voldoende accuraat bepaald zijn. WLR Rapport 1525 (Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024) moedigt het gebruik van zo nauwkeurig mogelijke methoden aan, afhankelijk van de situatie en stelt daarom meetventilatoren niet expliciet boven de tracergasratiomethode. Bij continue emissiemonitoring is werken met een kunstmatige tracer praktisch gezien niet mogelijk. Een natuurlijk tracergas (CO_2) zou wel kunnen maar kent aanvullende onzekerheid in rekenregels en inputdata.

Kopje '3.1 Fraude gevoelig luchtventilatie'

M.
"*Het is niet duidelijk in hoeverre "spelen" met het ventilatievolume softwarematig te ondervangen is.*"
"*Bij periodieke hoge ammoniak meting het ventilatievolume (manueel dus ongecontroleerd?) manipuleren lijkt relatief simpel.*"
"*Daarnaast blijft de natuurlijke ventilatie optie door de toegangsdeuren open zetten ook beschikbaar.*"

Het (mechanisch) ventileren van varkensstallen is noodzakelijk om de geproduceerde warmte en gassen zoals koolstofdioxide en waterdamp af te voeren en te vervangen door frisse lucht. De klimatisering van varkenstallen is van grote invloed op het welzijn, de gezondheid en de productiviteit van de dieren. In de varkenshouderij zijn verschillende mechanische ventilatiemethoden ontwikkeld waarbij de verschillen zitten in de aanvoer en verdeling van frisse lucht over de stalruimte (plafondventilatie, voergangventilatie, kanaalventilatie, enzovoort), de afvoer van de vuile lucht (centraal luchtafvoerkanaal met regelkleppen tussen afdelingen en centraal luchtafvoerkanaal, individuele ventilatorschachten van afdelingen direct naar buiten, enzovoort), de isolatie van het stalgebouw, en de eventuele voorconditionering van de binnenkomende lucht voor deze de dierruimte in stroomt. Deze ventilatiemethoden maken voor een deel onderdeel uit van de ruwbouw van het stalgebouw, ze zijn niet of moeilijk te veranderen zonder ingrijpende bouwkundige aanpassingen. Een ventilatiemethode moet in staat zijn om grote volumes lucht per tijdseenheid te verversen zonder ongewenste bijeffecten, zoals ruimtelijke verschillen, tocht en koudeval. De hoeveelheid ventilatie is doorgaans ingeprogrammeerd in de klimaatcomputer die dit regelt aan de hand van bijvoorbeeld het gewicht of de leeftijd van de dieren en de buitentemperatuur. Het handmatig spelen met de ventilatiehoeveelheid is mogelijk, maar het effect daarvan zal gemeten worden door de meetventilator (een toename of afname van de ventilatiehoeveelheid) en zich door vertalen in de berekende emissie uit de stal. Bij registratie van de ventilatiehoeveelheid door een ventilatiecomputer of datalogger is manipulatie niet zomaar mogelijk, aangezien de code en dataopslag beschermd zullen zijn. Als de ammoniakconcentratie oploopt/te hoog is, vraagt dit om verhoging van de ventilatiehoeveelheid om gassen te verdunnen en een gezond stalklimaat voor de dieren te kunnen garanderen. Deuren openzetten is hierbij geen reële optie omdat de inkomende lucht gelijkelijk verdeeld moet worden door de ruimte en tocht te voorkomen.

Kopje '3.2 WUR nuancering van meetresultaten'

N.
"*Hier wordt een omgekeerde redenering gevolgd, niet leidend is het risico van een veel grotere (+20%!) van ammoniakemissie maar de beperking van de sensortechniek.*"

De zin heeft betrekking op een citaat uit WLR Rapport 1525 (Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024): "*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*". WLR Rapport 1525 is hier niet juist geïnterpreteerd. Met het citaat uit WLR Rapport 1525 wordt een grens gesteld aan het extrapoleren buiten het gekalibreerde concentratiebereik. Een voorbeeld: wanneer een gassensor in de praktijksituatie van een stal is gekalibreerd aan de standaard referentiemethode (veldkalibratie) over een concentratiebereik van 1 tot 20 ppm, dan mag de daarmee verkregen correctiefunctie slechts worden ingezet tot sensorconcentraties van 24 ppm (20 ppm vermeerderd met 20%). In ieder geval bij veldgebruik hangt dit af van de resultaten verkregen tijdens de referentiemetingen. Hoewel deze representatief geacht mogen worden, zijn kortstondige perioden of zelfs meetdagen met hogere waarden niet uit te sluiten en kunnen zo alsnog meegenomen worden. Het gaat hier dus niet om een grotere ammoniakemissie of iets dergelijks, maar om een methodische restrictie die bijdraagt aan betrouwbare metingen en daarbinnen een zo volledig mogelijke datacoverage.

Kopje '3.3 Nauwkeurigheid van de meetwaarden'

O.
"*Een redelijk aanname is dat deze tussen 30 % en 50 % zal liggen. Met deze meetnauwkeurigheid kunnen we niet meer spreken van kwantitatieve resultaten, zelfs niet semi-kwantitatieve, maar slechts van indicatieve resultaten.*"

Het document bevat hier een conceptuele rekenfout. Het document gaat er vanuit dat onzekerheden cumulatief zijn en dus bij elkaar opgeteld moeten worden. Dit leidt bij het geschetste voorbeeld van 10% sensoronnauwkeurigheid, tweemaal 10% voor de meetventilatoren en 10% voor de referentiemethode tot een inschatting van 30 tot 50% onzekerheid. Deze rekenwijze is echter onjuist. Er moet kwadratisch worden opgeteld en daarna wortelgetrokken (voortplanting van fouten). Bij de genoemde uitgangspunten en kwadratisch optellen gevolgd door worteltrekken is de onzekerheid 20%, en bij een onzekerheid voor de meetventilatoren van 5% in plaats van de gestelde 10%, is dit 15% in plaats van tussen 30 en 50%.

Kopje '3.4 WUR bron 7 bevestigt meetonnauwkeurigheid'

"*Ter onderbouwing van 3.3 een citaat uit WUR bron 7, pagina 18: "In Figuur 3.14 en Tabel 8 worden de gemiddelde NH3-emissies voor zowel de continue als de referentiemetingen voor de gemeten afdelingen weergegeven. Op basis van alle meetgegevens (continue metingen=sensor meting) werd voor VV1 een gemiddelde ammoniakemissie (± standaarddeviatie tussen metingen) berekend van 2,1 ± 0,9 kg/jaar per dierplaats. Dit betekent concreet dat bij een stal met 2000 varkens (uitgerust met elektro chemische sensor meetnet) 2400 of 6000 kg per jaar ammoniak emissie gemeten wordt Zo'n ruime marge is zelfs niet meer als indicatief te beschouwen. Met hierbij nog aangetekend dat deze data verzameld zijn in een wetenschappelijk ondersteund onderzoek, dus niet vergelijkbaar met een gewone praktijk situatie*."

Abusievelijk is hier een standaardafwijking die de variatie in emissies tussen de dagen beschrijft, geïnterpreteerd als een maat voor de precisie waarmee de emissie is bepaald (zoals een standaardfout). Daardoor is de tekst die volgt na "Dit betekent concreet" onjuist. De genoemde WUR bron 7 (WLR Rapport 1377; Mosquera et al., 2022b) presenteert de resultaten van continue emissiemonitoring bij varkens (twee stallen met vleesvarkens, twee stallen met gespeende biggen en één stal met zeugen) gedurende twee jaar. De emissies zijn zowel continu gemeten met gassensoren als discontinu met standaard referentiemethoden gedurende een dag per twee maanden. De emissies zijn voor iedere stal en op dagbasis bepaald. Het eindresultaat is onder andere uitgedrukt als gemiddelde jaaremissie om vergelijking met vaste emissiefactoren mogelijk te maken. Per meetdag kan de emissie variëren afhankelijk van bijvoorbeeld de veestapelsamenstelling en weersomstandigheden. In het rapport wordt aangegeven dat de 2,1 ± 0,9 kg/jaar per dierplaats een gemiddelde ± een standaardafwijking over de dagemissies binnen een stal betreft. Het tweede getal beschrijft dus de mate waarin emissies rond het gemiddelde hebben gevarieerd tussen de dagen. Het is een beschrijvende maat. Abusievelijk is verondersteld dat het tweede cijfer een maat is voor de precisie waarmee het gemiddelde is vastgesteld (zoals een standaardfout).

Belangrijk is op te merken dat de auteurs van WLR Rapport 1377 de emissies bepaald met de meet- en rekenketen op basis van de gassensoren hebben vergeleken met de emissies bepaald met de meet- en rekenketen op basis van de standaard referentiemethoden. Uit de statistische toetsing bleek dat de langs twee methoden verkregen emissiecijfers statistisch niet van elkaar afweken. Daarmee is op basis van een statistische toetsing van empirische meetcijfers vastgesteld dat de meet- en rekenketen van gassensoren tot dezelfde emissiecijfers leidt als de standaard referentiemethoden.

Kopje '4. Conclusie'

Q.
Onder dit kopje worden twee citaten gegeven van bladzijden 96 en 109 van deel D van WLR Rapport 1525 (Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024). De geciteerde zinnen zijn oorspronkelijk afkomstig uit WLR Rapport 1285 (Vonk et al., 2021). De zinnen beschrijven een context waarin WLR Rapport 1285 is geschreven van vier jaar geleden. Er wordt gewezen op de ontwikkel- en pilotfase waarin veel sensoren zich bevinden, op de weinige kennis die er is over de sensoren en hun beoordeling, en op het feit dat WLR Rapport 1285 (Vonk et al., 2021) als startpunt gezien moest worden. Voor een deel is de inhoud van deze zinnen ook anno 2025 nog geldig. Maar bedacht moet ook worden dat er de afgelopen vier jaar grote stappen zijn gezet op deze punten zodat de geciteerde zinnen niet meer met dezelfde zeggingskracht gebruikt kunnen worden in 2025. WLR Rapport 1525 is een groeidocument waarvan versie 2 de actuele versie is. In komende versies zal deel D worden geactualiseerd met de kennis en ervaring van de afgelopen jaren en lopende projecten.

R.
Het rapport sluit af met de opmerking: "*Sensoren kunnen zeker nut hebben in het monitoren van emissie in gesloten stalsystemen, mits ingezet met de juiste verwachting*." In de ontwikkeling van een stelsel van vergunningsverlening op basis van emissieplafonds en continue emissiemonitoring wordt daar terdege rekening mee gehouden. Enerzijds zijn de in te zetten sensoren reeds bekend, anderzijds moet er in praktijksituaties nog meer ervaring mee worden opgedaan. Daarom is voorzien in uitgebreide kwaliteitsborging via lab- en veldkalibraties, controlemetingen en verificatie.

3. Slotsom

3.1 Steekhoudendheid van evaluatie en conclusies in het document van SLBG
In het document 'Evaluatie van ammoniak metingen met sensoren in gesloten stalsystemen' van de Stichting Leefbaar Buitengebied Gelderland (SLBG) versie 2 van 23 januari 2025' wordt de vraag centraal gesteld "*of de actuele stand van de wetenschap volstaat om kwantitatief betrouwbare resultaten te produceren met sensor technologie in een gesloten stal omgeving, gegeven de huidige technische hard- en software mogelijkheden*". Deze vraag wordt beantwoord aan de hand van een evaluatie. Op basis van de evaluatie komt het document tot de conclusie dat de huidige generatie elektrochemische sensoren niet geschikt is voor het produceren van ammoniakmeetresultaten van voldoende kwaliteit uit gesloten stalomgevingen.

De evaluatie bevat op essentiële onderdelen onjuistheden, onvolledigheden en misinterpretaties. De evaluatie is naar de beoordeling van de auteurs van deze notitie niet valide om de getrokken conclusie te onderbouwen. In hoofdstuk 2 van deze notitie zijn op de cruciale onderdelen correcties, aanvullingen en bijgestelde interpretaties gegeven.

3.2 Studies met een empirische toetsing van gassensoren in mechanisch geventileerde stallen
Bij mechanisch geventileerde stallen bleken in twee recente studies geen statistisch significante verschillen te bestaan tussen emissies (ammoniak, methaan) bepaald met gassensoren en emissies bepaald met standaard referentiemethoden, gemeten in dezelfde stallen en op dezelfde dagen. Dit betroffen mechanisch geventileerde stallen voor rosé-vleeskalveren (Mosquera et al., 2022a) en mechanisch geventileerde varkensstallen (Mosquera et al., 2022b). Bij mechanisch geventileerde stallen liggen te meten concentraties meestal in een concentratiebereik dat relatief makkelijk meetbaar is voor gassensoren, zijn zowel meetventilatoren als de CO_2-tracergasratiomethode voorhanden als valide methode voor bepaling van de ventilatiehoeveelheid en kunnen concentraties in de uitgaande lucht meestal op een centrale en ruimtelijk kleine positie gemeten worden. In deel C van WLR Rapport 1525 (Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024) zijn mechanisch geventileerde stallen daarom binnen de scope van emissiemonitoring gebracht. De precieze criteria staan omschreven in par. C1.4.

3.3 Studies met een empirische toetsing van gassensoren in natuurlijk geventileerde stallen
Bij natuurlijk geventileerde geitenstallen bleken in een recente studie (Mosquera et al., 2022c) eveneens geen statistisch significante verschillen te bestaan tussen emissies (ammoniak, methaan) bepaald met gassensoren en emissies bepaald met standaard referentiemethoden, gemeten in dezelfde stallen en op dezelfde dagen. In deze studie werd de CO_2-productie van de stropot in de stal met zogenaamde fluxkamers bemeten. Dit is in niet-onderzoeksbedrijven praktisch ondoenlijk. Daarom vallen alleen mechanisch geventileerde geitenstallen onder de scope van deel C van WLR Rapport 1525.

Bij natuurlijk geventileerde melkkoeienstallen echter, waren ammoniakemissies met twee continue (sensor)meetmethoden respectievelijk 8% en 12% lager dan die op basis van de standaard referentiemethode (Schep et al., 2022). Dit systematische verschil kon niet verklaard worden door effecten gerelateerd aan het beweiden omdat het verschil zowel tijdens beweidingsperioden als opstalperioden bestond.

Bij natuurlijk geventileerde stallen voor melkkoeien zijn emissiecijfers met een grotere mate van onzekerheid omgeven dan bij mechanisch geventileerde (gesloten) stallen. Dit komt bijvoorbeeld door het lagere concentratiebereik (ca. 0,5 tot 5 ppm ammoniak) dat moeilijker meetbaar is voor de meeste gassensoren, het kleinere verschil tussen stal- en buitenconcentratie van CO_2 waardoor de bepaling van de ventilatiehoeveelheid met de CO_2 tracergasratiomethode minder nauwkeurig kan zijn, er beweiding wordt toegepast waardoor de bron van zowel ammoniak als koolstofdioxide een deel van de dag niet aanwezig is in de stal, en concentraties gemeten moeten worden over een groot/langgerekt uittredend oppervlak (doorgaans een open nok) waarover ruimtelijke variatie in concentraties voldoende ingevangen

moeten worden. In deel C van WLR Rapport 1525 (Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024) zijn natuurlijk geventileerde melkveestallen daarom alleen onder de scope van emissiemonitoring gebracht als stalgebouwmodellen goed bemeetbaar zijn en koeien permanent opgestald worden. Met het onderzoek op de stalsensoronderzoekslocatie voor melkkoeien (De Marke, Hengelo Ov.) en met een aantal andere lopende en toekomstige onderzoeksprojecten wordt onder andere beoogd de toepasbaarheid en nauwkeurigheid van emissiemetingen in natuurlijk geventileerde stallen te vergroten.

3.4 Slotconclusie van deze notitie

Deze notitie richt zich uitsluitend op de wetenschappelijke en technische vraag of huidige gassensoren geschikt (kunnen) zijn om emissies van ammoniak uit gesloten (mechanisch geventileerde) stallen op een betrouwbare manier te bepalen. Het antwoord op die vraag is naar het oordeel van de auteurs 'ja, mits'. De mits is dat het cruciaal is dat merk/type gassensoren via labtests en veldkalibraties als voldoende presterend zijn beoordeeld ('typegoedkeuring') en vervolgens op een kwaliteitsvolle manier – in de breedste zin des woords – worden ingezet. WLR Rapport 1525 (Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2024) beschrijft hiervoor labtests, veldkalibraties en een kwaliteitsvolle inzet in de vorm van een richtlijn; zowel voor metingen gericht op een algemene erkenning (d.w.z. een emissiefactor; deel A en D) als op emissiemonitoring in het kader van een doelvoorschriftvergunning (deel C en D).

4. Bronnen

CLO (2025a). Zwaveldioxide in lucht, 1990-2023. Geraadpleegd 20 juli 2025, van https://www.clo.nl/indicatoren/nl044112-zwaveldioxide-in-lucht-1990-2023.

CLO (2025b). Stikstofdioxide in lucht, 1992-2023. Geraadpleegd 20 juli 2025, van https://www.clo.nl/indicatoren/nl023119-stikstofdioxide-in-lucht-1992-2023.

Mosquera, J., J.M.G. Hol, J.W.H. Huis in'T Veld (2008). Meetmethode voor ammoniakemissiemetingen uit stallen met uitloop. Rapport 100. Wageningen, Animal Sciences Group. https://edepot.wur.nl/120738.

Mosquera, J., H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, L. Workel, J.P.M. Ploegaert & N.W.M. Ogink (2022a). Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit stallen voor rosé vleeskalveren; Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020. Rapport 1376. Wageningen, Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/572109.

Mosquera, J., H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, J.P.M. Ploegaert & N.W.M. Ogink (2022b). Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit stallen voor biggen, dragende zeugen en vleesvarkens; Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020. Rapport 1377. Wageningen, Wageningen Livestock Research. https://edepot.wur.nl/572110.

Mosquera, J., H.J.C. van Dooren, J.M.G. Hol, J.P.M. Ploegaert & N.W.M. Ogink. Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit twee natuurlijk geventileerde geitenstallen: Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020. Rapport 1378. Wageningen, Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/572111.

Royal GD (2023). Waterstofsulfide (H2S) gassen in varkensstallen. Geraadpleegd 18 juli 2025, van: https://www.gddiergezondheid.nl/nl/Diergezondheid/Management/Huisvesting/Waterstofsulfide-gassen-in-varkensstallen.

Schep, C.A., H.J.C. van Dooren, J. Mosquera, E.A.P. van Well, J.A. Keuskamp & N.W.M. Ogink (2022). Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit melkveestallen: Praktijkmetingen in de periode oktober 2018-oktober 2020. Rapport 1388. Wageningen, Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/576706.

Schep, C.A., J. Vonk, T. Rikkers, H.J.C. van Dooren, & N.W.M. Ogink (2023). Inventarisatie van methaansensoren en validatie van de Axetris LGD Compact-A CH4 ten behoeve van continue emissiemonitoring in de melkveehouderij. Rapport 1456. Wageningen, Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/641807.

Schep, C.A., E.D.W. Vermeulen, H.J.C. van Dooren, J.A. Keuskamp, E.A.P. van Well & K. van Deest (2024). Emissies van ammoniak en methaan uit melkveestallen in het Netwerk Praktijkbedrijven; Tussenresultaten van praktijkmetingen op 15 onderzoeksbedrijven. Rapport 1487. Wageningen, Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/659372.

Verfaillie, A., L. Laanen, K. Coorevits, T. De Decker, C. Vandenbussche & E. Brusselman (2024). Screening van meetmethodes voor de bepaling van het ventilatiedebiet bij de uitvoering van emissiemetingen in veestallen. ILVO Mededeling D/2025/01. Merelbeke-Melle (België), Instituut voor Landbouw- Visserij- en Voedingsonderzoek. https://ilvo.vlaanderen.be/uploads/documents/Mededelingen/rapport_meetmethodes_ventilatiedebiet_finaal.pdf.

Vonk, J., D. van Dinther, J. Mosquera & N.W.M. Ogink (2021). Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoring van NH_3 en CH_4 uit veehouderijen; Toepassing bij sensorsystemen voor vaststellen van stalemissies. Rapport 1285. Wageningen, Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/536495.

Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij (2024). Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen (versie 2). Rapport 1525. Wageningen, Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/678752.