



Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen

Guidelines for determination of emissions from livestock barns

Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij

Rapport 1470

Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen

Guidelines for determination of emissions from livestock barns

Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij

Dit rapport is opgesteld door de Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, bestaande uit wetenschappelijke experts van Wageningen Livestock Research (WLR), de Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO), het Vlaams Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO) en de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Wageningen Livestock Research
Wageningen, januari 2024

Rapport 1470

Synopsis

Dit wetenschappelijk rapport beschrijft hoe emissies van luchtvervuilende stoffen en broeikasgassen uit veestallen op correcte wijze kunnen worden bepaald op basis van de actuele stand van wetenschappelijke kennis. Het rapport doet dit voor zes toepassingsgebieden. Deel A is gericht op het bepalen van emissies van huisvestingssystemen, staltechnieken en managementmaatregelen in het kader van een algemene erkenning. Deel B is gericht op het bepalen van het verwijderingsrendement van nageschakelde luchtreinigingstechnieken in het kader van een algemene erkenning. Deel C is gericht op het bepalen van emissies bij emissie monitoring in het kader van een doelvoorschriftvergunning. Delen D, E en F, tenslotte, zijn gericht op ontwikkeling en validatie van (sensor)meetsystemen voor continue concentratiemeting van respectievelijk gassen, (fijn)stof en geur. Dit rapport is opgesteld door wetenschappelijke experts van vier kennisinstellingen. Het kan voorgeschreven worden als te volgen werkwijze in een bepaald toepassingsgebied, bijvoorbeeld door de rijksoverheid, bevoegd gezag of norminstituut. Door dit voor te schrijven wordt de toepassing van dit document een protocol.

Abstract

This scientific report describes how emissions of air pollutants and greenhouse gases from livestock barns can be correctly determined based on the current state of scientific knowledge. The report does this for six application areas. Part A focusses on determining emissions from housing systems, barn techniques and management measures in the context of a general acceptance in legislation. Part B focusses on determining the removal efficiency of end-of-pipe air cleaning technologies in the context of a general acceptance in legislation. Part C focusses on emission monitoring in the context of target-based permits granted to farms. Finally, parts D, E and F focus on the development and validation of (sensor) measurement systems for continuous concentration measurement of gases, dust and odour respectively. This report was produced by scientific experts from four scientific organizations. It can be prescribed as a method to be followed in a specific area of application, for example by the national government, by permit granting authorities, or by standardization institutes. By prescribing this, the application of this document becomes a protocol.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/646830> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2024

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

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.

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 gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

| | |
|---|-----------|
| Voorwoord | 7 |
| 1 Inleiding | 9 |
| 1.1 Ontstaansgeschiedenis richtlijnen en protocollen in Nederland | 9 |
| 1.2 Doel van dit document | 10 |
| 1.3 Totstandkoming van dit document | 10 |
| 1.4 Documentstructuur | 11 |
| 1.5 Aard en toepassing | 11 |
| 2 Betekenis van afkortingen en begrippen | 13 |
| 2.1 Betekenis van afkortingen | 13 |
| 2.2 Betekenis van begrippen | 14 |
| DEEL A: bepalen van emissies van huisvestingssystemen, staltechnieken en managementmaatregelen in het kader van een algemene erkenning | 16 |
| 1 Inleiding | 17 |
| 1.1 Context | 17 |
| 1.2 Doel | 17 |
| 2 Organisatorische aspecten | 18 |
| 2.1 Ontwikkelfase en definitieve fase | 18 |
| 2.2 Actoren en verantwoordelijkheden | 18 |
| 2.3 Eisen aan de meetinstantie | 19 |
| 2.4 Conformiteit regelgeving diergezondheid, dierwelzijn en veiligheid | 20 |
| 2.5 Meetplan | 20 |
| 3 Beschrijving onderzoekslocatie en te onderzoeken interventie | 21 |
| 3.1 Beschrijving veehouderij/onderzoekslocatie | 21 |
| 3.2 Beschrijving te onderzoeken interventie | 22 |
| 4 Proefdesigns en onderzoekslocaties | 24 |
| 4.1 Uitgangspunten | 24 |
| 4.2 Beschrijving van de proefdesigns en hun criteria | 24 |
| 4.2.1 Proefdesign 1a. Case-control met identieke proefeenheden en wisseling van interventie over proefeenheden | 24 |
| 4.2.2 Proefdesign 1b. Case-control met identieke proefeenheden zonder wisseling van interventie over proefeenheden | 26 |
| 4.2.3 Proefdesign 2. Case-control met niet-identieke proefeenheden en wisseling van interventie over proefeenheden | 26 |
| 4.2.4 Proefdesign 3. Case-control in de tijd, binnen dezelfde stal | 27 |
| 4.2.5 Proefdesign 4. Multi-bedrijfslocatiedesign | 27 |
| 4.3 Aantonen gelijkwaardigheid proefeenheden | 27 |
| 4.4 Aantallen veehouderijen/onderzoekslocaties | 28 |
| 4.4.1 Bemeetbaarheid van meetlocatie | 28 |
| 4.4.2 Representativiteit van meetlocatie en landbouwkundige randvoorwaarden | 29 |
| 5 Meetstrategie | 30 |
| 5.1 Uitgangspunten | 30 |
| 5.2 Continue metingen | 30 |
| 5.3 Discontinue metingen | 30 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.4 | Meetposities | 32 |
| 6 | Meetmethoden ventilatiedebiet | 34 |
| 6.1 | Mechanisch versus natuurlijk geventileerde stallen | 34 |
| 6.2 | Meetventilatoren op werkventilatoren zonder registratie | 34 |
| 6.3 | Werkventilatoren met registratie | 35 |
| 6.4 | Tracergas ratiomethode | 35 |
| 6.4.1 | Natuurlijk tracergas | 35 |
| 6.4.2 | Kunstmatig tracergas | 36 |
| 7 | Meetmethoden luchtconcentraties | 37 |
| 7.1 | Ammoniak (NH ₃) | 37 |
| 7.2 | Geur | 38 |
| 7.3 | Methaan (CH ₄), lachgas (N ₂ O) en koolstofdioxide (CO ₂) | 41 |
| 7.4 | Fijnstof (PM ₁₀ en PM _{2,5}) | 42 |
| 7.5 | Bioaerosolen | 43 |
| 8 | Dataverwerking en -analyse | 44 |
| 8.1 | Controle op volledigheid, kwaliteit en consistentie | 44 |
| 8.2 | Data-inclusie, data-exclusie en data-aggregatie | 44 |
| 8.3 | Berekening emissie bij proefdesigns 1a, 1b, 2 en 3 | 45 |
| 8.4 | Berekening emissie bij proefdesign 4 | 46 |
| 8.5 | Afwijkende berekening emissies bij dieren met exponentieel emissiepatroon en discontinue meting | 47 |
| 8.6 | Standaardisatie van emissies bij melkvee | 47 |
| 8.7 | Statistische evaluatie emissie-effect interventie | 48 |
| 8.8 | Bepaling meetonzekerheid (voorbeeld) | 48 |
| 9 | Rapportage | 51 |
| | Bijlage A1: Landbouwkundige randvoorwaarden | 53 |
| | Bijlage A2: rekenregels ten behoeve van de natuurlijke tracergas ratiomethode | 66 |
| | DEEL B: bepalen van het verwijderingsrendement van nageschakelde luchtreinigingstechnieken in het kader van een algemene erkenning | 67 |
| | DEEL C: bepalen van emissies bij emissie monitoring in het kader van doelsturing | 69 |
| 1 | Inleiding | 70 |
| 1.1 | Context | 70 |
| 1.2 | Doel | 70 |
| 1.3 | Overeenkomsten en verschillen delen A/B vs. C | 70 |
| 1.4 | Afbakening huidige inzetbaarheid | 71 |
| 2 | Organisatorische aspecten | 73 |
| 2.1 | Actoren en verantwoordelijkheden | 73 |
| 2.2 | Meetplan bij een doelvoorschriftvergunning | 73 |
| 2.3 | Rapportage monitoringsresultaat aan bevoegd gezag | 74 |
| 3 | Meetstrategie | 75 |
| 3.1 | Uitgangspunt | 75 |
| 3.2 | Bemeetbaarheid van het stalgebouw | 75 |
| 3.3 | Meetposities | 75 |
| 4 | Meetmethoden ventilatiedebiet | 76 |
| 4.1 | Methoden | 76 |
| 4.2 | Kwaliteitsborging | 76 |

| | | |
|---|---|------------|
| 5 | Meetmethoden luchtconcentraties | 77 |
| 5.1 | Continue meetsystemen | 77 |
| 5.2 | Standaard referentiemethoden | 77 |
| 5.3 | Kwaliteitsborging luchtconcentratiemetingen | 77 |
| 6 | Dataverwerking en -analyse | 78 |
| 6.1 | Controle op volledigheid, kwaliteit en consistentie | 78 |
| 6.2 | Data-inclusie, data-exclusie en data-aggregatie | 78 |
| 6.3 | Berekening emissie | 78 |
| 6.4 | Schatting van emissies voor perioden zonder meetdata | 78 |
| DEEL D: ontwikkeling en validatie van (sensor)meetsystemen voor continue meting van gasconcentraties | | 79 |
| 1 | Inleiding | 80 |
| 1.1 | Doelstelling | 80 |
| 1.2 | Afbakening | 80 |
| 1.3 | Aanpak en indeling | 80 |
| 2 | Beschrijving van het toepassingsgebied | 82 |
| 3 | Laboratoriumtests | 84 |
| 3.1 | Initiële labtest | 84 |
| 3.1.1 | Responstijd | 84 |
| 3.1.2 | Kalibratie | 85 |
| 3.1.3 | Herhaalbaarheid, instrument-herhaalbaarheid en detectielimiet | 85 |
| 3.2 | Aanvullende labtesten | 86 |
| 3.2.1 | Drukeffect | 86 |
| 3.2.2 | Temperatuur- of vochtgevoeligheid, stoorcomponenten | 86 |
| 3.3 | Uitgebreide meetonzekerheid | 87 |
| 4 | Veldtest – validatie onder praktijkomstandigheden | 88 |
| 4.1 | Opzet en randvoorwaarden voor uitvoering | 88 |
| 4.2 | Beoordeling van gelijkwaardigheid methodes en inzetbaarheid voor bedrijfsmonitoring | 89 |
| 5 | Installatie en onderhoud | 91 |
| 5.1 | Kalibratie vooraf | 91 |
| 5.2 | Installatie/oplevering | 91 |
| 5.3 | Gebruik | 91 |
| 5.4 | Onderhoud | 92 |
| 6 | Conclusies en aanbevelingen | 93 |
| Bijlage D1: rekenvoorbeeld beoordeling gelijkwaardigheid meetmethode | | 94 |
| DEEL E: ontwikkeling en validatie van sensormeetsystemen voor continue meting van stofconcentraties | | 101 |
| DEEL F: ontwikkeling en validatie van sensormeetsystemen voor continue meting van geurconcentraties | | 103 |
| Bronnenlijst | | 105 |



Voorwoord

Al meer dan dertig jaar wordt in de veehouderij gebruik gemaakt van documenten - richtlijnen of protocollen genoemd - die beschrijven hoe emissies uit stalgebouwen op correcte wijze kunnen worden bepaald. Deze documenten richten zich op meetcampagnes gericht op het verkrijgen van algemene erkenningen van huisvestingssystemen, staltechnieken, managementmaatregelen en nageschakelde luchtreinigingstechnieken. Uit de periode 2011-2017 bestonden hiervoor in Nederland zes Wageningen Livestock Research Rapporten; één rapport per emitterende stof. Deze documenten waren anno 2023 toe aan integratie tot één document, actualisatie aan de stand van kennis, onderzoeksmogelijkheden en veehouderijpraktijk van het heden, en harmonisatie met de multinationale VERA Test Protocols. Daarnaast ontstond in 2023 de behoefte aan een document dat beschrijft hoe emissies uit stalgebouwen op correcte wijze kunnen worden gemonitord in het kader van een doelvoorschriftvergunning. In dit nieuwe document zijn deze aspecten samengebracht. Het document is opgesteld in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

De opdracht is uitgevoerd door een werkgroep bestaande uit wetenschappelijke experts van Wageningen Livestock Research (WLR), de Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO), het Vlaams Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO) en de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO). Met deze brede samenstelling van experts van zowel Nederlandse als Vlaamse wetenschappelijke organisaties is beoogd te komen tot een document van hoge kwaliteit op basis van algemeen aanvaard wetenschappelijk inzicht dat een basis biedt om in de toekomst mogelijk ook in Vlaanderen inzetbaar te worden.

Dit document bestaat uit zes verschillende delen (A tot en met F); één deel per toepassingsgebied. Elk deel is voorzien van een eigen schutblad met titel, versiedatum en de namen van de werkgroepleden die auteur zijn van dat deel. De werkgroep heeft zich in de huidige versie gericht op het opstellen van delen A (gericht op het verkrijgen van een algemene verkenning van huisvestingssystemen, staltechnieken en managementmaatregelen), C (gericht op emissie monitoring in het kader van een doelvoorschriftvergunning) en D (gericht op het vaststellen van het prestatieniveau van (sensor)meetsystemen voor gasconcentraties). Deze delen hebben een nauwe samenhang. Met deze delen wordt voorzien in de meest dringende behoeften van dit moment. In een volgende versie, die medio 2024 zal verschijnen, zal de focus liggen op uitbreiding met deel B (gericht op het verkrijgen van een algemene erkenning van nageschakelde luchtreinigingstechnieken) en E (gericht op het vaststellen van het prestatieniveau van (sensor)meetsystemen voor (fijn)stofconcentraties).

Graag wil ik alle werkgroepleden van harte bedanken voor de zeer prettige en constructieve samenwerking in de afgelopen maanden. Namens de werkgroepleden spreek ik de wens uit dat dit document en zijn toekomstige versies mogen bijdragen aan kwaliteitsvolle metingen van emissies in de veehouderij die helpend zijn in de transitie naar een gezond en duurzaam voedselproductiesysteem.

Dr. ir. A. (Albert) Winkel

Senior onderzoeker Wageningen Livestock Research
Landelijk coördinator emissie monitoring; projectleider Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij 2023-2024



1 Inleiding

1.1 Ontstaansgeschiedenis richtlijnen en protocollen in Nederland

Op veehouderijbedrijven kunnen emissies optreden van onder meer geurhoudende verbindingen (kortweg: 'geur'), ammoniak (NH₃), methaan (CH₄), lachgas (N₂O), fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}) en bioaerosolen. In Nederland worden sinds de jaren negentig emissiefactoren van huisvestingsystemen, staltechnieken en managementmaatregelen gebruikt voor regelgeving en vergunningverlening. Voor het bepalen van deze emissiefactoren bestaat een voorgeschiedenis van documenten (beoordelingsrichtlijnen, meetprotocollen, testprotocollen) die op basis van wetenschappelijke kennis beschrijven hoe emissies kunnen worden bepaald. Deze voorgeschiedenis wordt hier chronologisch geschetst.

In 1993 werd door het toenmalige Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) voor het eerst een '*Beoordelingsrichtlijn emissiearme stallen*' vastgesteld die beschreef hoe emissies van ammoniak uit stalgebouwen moesten zijn bepaald (VROM, 1993). Deze Beoordelingsrichtlijn was het document aan de hand waarvan het bestuur van de Stichting Groen Label aanvragen toetste die bij haar binnen kwamen om een (ammoniak-emissiearm) stalsysteem een zogenaamd 'Groen Label' toe te kennen. Deze beoordelingsrichtlijn werd voor het laatst herzien in 1998.

Ter ondersteuning van regelgeving gericht op vermindering van geurhinder is tussen 1996 en 2003 in opdracht van de Ministeries van LNV (destijds nog Landbouw, Natuurbeheer en Visserij geheten) en VROM onderzoek uitgevoerd naar de geuremissie van conventionele en emissie-arme stalsystemen (Ogink & Lens, 2001; Mol & Ogink, 2002). Door een toenmalige 'Werkgroep Emissiefactoren', ingesteld door de Ministeries van LNV en VROM, werd hiertoe een beknopt meetprotocol ontwikkeld en vastgelegd in het document '*Meetprotocol voor geuremissies uit stallen*' (Werkgroep Emissiefactoren, 1995). Later verscheen de nota '*Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij*' (Ogink & Mol, 2002).

Ten gevolge van de Europese richtlijn 2008/50/EC met maximale concentraties van fijnstof in de atmosfeer, werd fijnstof de derde gereguleerde emissiecomponent voor de Nederlandse veehouderij. Om fijnstofemissies uit stallen te kunnen meten, werd een meetmethode geschikt gemaakt en een eerste protocol opgesteld getiteld: '*Measurement protocol for emissions of fine dust from animal houses: considerations, draft protocol and validation*' (Hofschreuder et al., 2008).

In 2011 werd vervolgens door Wageningen UR Livestock Research (voorloper van het huidige Wageningen Livestock Research) in opdracht van de Ministeries van LNV (inmiddels onder de naam Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit) en VROM een serie van vijf rapporten gepubliceerd bevattende meetprotocollen gericht op het vaststellen van emissies van verschillende stoffen uit stallen in de veehouderij. Het ging om de componenten ammoniak (Ogink et al., 2011; Rapport 454), geur (Ogink et al., 2011; Rapport 491), fijnstof (Ogink et al., 2011; Rapport 492), methaan (Groenestein et al., 2011; Rapport 493) en lachgas (Mosquera et al., 2011; Rapport 494). Het meetprotocol voor ammoniak werd geactualiseerd in 2013 (Ogink et al., 2013; Rapport 726) en 2017 (Ogink et al., 2017; Rapport 1032). In 2015 werd tot slot een zesde protocol voor emissies van bioaerosolen gepubliceerd (Aarnink et al., 2015; Rapport 878). Het rapport bevattende een meetprotocol voor ammoniak was juridisch verankerd in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav), artikel 3.3.d. Dit artikel beschrijft dat de minister een bijzondere emissiefactor kan vaststellen indien naar zijn oordeel voldoende is gewaarborgd dat de ammoniakemissie overeenkomstig dit document, of een gelijkwaardige methode, wordt bepaald. In de per 1 januari 2024 van kracht geworden Omgevingswet zijn de emissiegrenswaarden voor ammoniak en fijnstof opgenomen in paragraaf 4.82 van het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal). Daarbij is het vaststellen van een bijzondere emissiefactor gedecentraliseerd, maar tevens is een meetverplichting opgenomen.

Omdat leveranciers van stalsystemen en emissiereducerende technieken veelal in meerdere landen actief zijn, is het wenselijk dat deugdelijk gemeten milieuprestaties multinationaal geaccepteerd kunnen worden. In 2006 liet het Ministerie van LNV verkennen hoe Nederlandse en Duitse meetprotocollen voor stalemissies van ammoniak, geur en fijnstof geharmoniseerd zouden kunnen worden (Aarnink et al., 2006). In 2008 werd het samenwerkingsverband VERA (*Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production*) opgezet waarin aanvankelijk Denemarken, Duitsland en Nederland actief waren. In 2018 trad ook Vlaanderen toe. Door VERA zijn vijf Engelstalige *Test Protocols* gepubliceerd waaronder die voor *Air Cleaning Technologies* (VERA, 2018a) en *Housing and Management Systems* (VERA, 2018b). Leveranciers van stalsystemen en emissiereducerende technieken konden bij VERA een verificatieverklaring aanvragen. Op een verificatieverklaring verklaart VERA dat een interventie beproefd is conform een VERA *Test Protocol*. De verklaring bevat verder een samenvatting van werkwijze en resultaten van het meetonderzoek, alsook van de operationele stabiliteit van de interventie. In 2021 verliet Duitsland het samenwerkingsverband. VERA is per 31 december 2023 geëindigd.

Sinds circa 2015 komen er in toenemende mate sensormeetsystemen beschikbaar die gebruikt zouden kunnen worden voor het meten van verschillende componenten in de veehouderij, bijvoorbeeld voor monitoring in het kader van doelregulering van emissies. In 2021 verscheen het rapport '*Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoring van NH₃ en CH₄ uit veehouderijen: Toepassing bij sensorsystemen voor vaststellen van stalemissies*' (Vonk et al., 2021). In dit rapport is beschreven hoe de prestaties van sensormeetsystemen kunnen worden bepaald en welke prestatieniveaus als voldoende kunnen worden gezien.

1.2 Doel van dit document

Dit document heeft als doel om te beschrijven hoe emissies van luchtvervuilende stoffen en broeikasgassen uit stalgebouwen in de veehouderij op correcte wijze kunnen worden bepaald op basis van de actuele stand van wetenschappelijke kennis. Het document is opgesteld in opdracht van de Ministeries van LNV en Infrastructuur en Waterstaat (IenW).

1.3 Totstandkoming van dit document

Dit document is opgesteld door een groep wetenschappers van: Wageningen Livestock Research (WLR), de Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO), het Vlaams Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO) en de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO). Het document is onder andere gebaseerd op de verschillende methode-documenten die nu bestaan, waarvan de ontstaansgeschiedenis is geschetst in paragraaf 1.1.

Met voornoemde documenten als basis worden de volgende activiteiten uitgevoerd:

1. het integreren van de zes Nederlandse meetprotocollen tot één document met weglating van de veel aanwezige overlap;
2. het harmoniseren van de zes Nederlandse meetprotocollen met de twee in dit kader relevante Test Protocols voortgebracht door VERA;
3. het adresseren van eventuele verbeterpunten;
4. het actualiseren van het document naar de huidige (wetenschappelijke en technische) mogelijkheden, de stand van kennis en de veehouderijsector;
5. het toevoegen van onderdelen met betrekking tot:
 - o het bepalen van de milieuprestaties van nageschakelde luchtreinigingstechnieken;
 - o emissie monitoring op veehouderijbedrijven in het kader van doelsturing;
 - o het bepalen van het prestatieniveau van (sensor)meetsystemen voor concentraties van verschillende stoffen.

1.4 Documentstructuur

Dit document beschrijft hoe emissies van luchtverontreinigende stoffen en broeikasgassen uit stalgebouwen kunnen worden bepaald. Het is ingedeeld in verschillende onderdelen per toepassingsgebied:

- Deel A: bepalen van emissies van huisvestingssystemen, staltechnieken en managementmaatregelen in het kader van een algemene erkenning
- Deel B: bepalen van het verwijderingsrendement van nageschakelde luchtreinigingstechnieken in het kader van een algemene erkenning
- Deel C: bepalen van emissies bij emissiemonitoring in het kader van doelsturing
- Deel D: ontwikkeling en validatie van (sensor)meetsystemen voor continue meting van gasconcentraties
- Deel E: ontwikkeling en validatie van (sensor)meetsystemen voor continue meting van stofconcentraties
- Deel F: ontwikkeling en validatie van (sensor)meetsystemen voor continue meting van geurconcentraties

Delen A en B zijn in belangrijke mate gebaseerd op de zes Nederlandse meetprotocollen en de twee VERA *Test Protocols*. Zij vormen de basis van dit document. Delen A en B zijn gericht op het voortbrengen van emissiegetallen die door overheden gebruikt kunnen worden voor een algemene erkenning, zoals het vaststellen van emissiefactoren in regelgeving. Deel C beschrijft op basis van delen A en B hoe emissies kunnen worden bepaald bij emissiemonitoring in het kader van doelsturing zoals een doelvoorschriftvergunning. Delen D, E en F beschrijven hoe het prestatieniveau van (sensor)meetsystemen voor continue meting van concentraties moeten worden bepaald en welke prestatieniveaus als acceptabel gezien kunnen worden. Systemen die voldoen aan de prestatie-eisen kunnen worden ingezet in metingen volgens delen A, B en C. Deel D is gebaseerd op het eerdere rapport van Vonk et al. (2021).

Dit document is een groeidocument dat frequent geactualiseerd zal worden. In de huidige versie (januari 2024) zijn delen A, C en D opgesteld. In volgende versies zullen delen B en E worden opgesteld. Delen A en B bouwen voort op een langere voorgeschiedenis van richtlijnen gericht op het bepalen van emissies in het kader van een algemene erkenning (zie par. 1.1). Daarom zullen deze minder aan actualisaties onderhevig zijn en een statischer karakter hebben.

In dit document heeft elk deel een eigen (in plaats van doorlopende) hoofdstuknummering. Bij verwijzingen naar hoofdstukken en paragrafen wordt de letter vermeld van het deel dat bedoeld wordt.

1.5 Aard en toepassing

Dit document is een rapport dat beschrijft hoe emissies van luchtverontreinigende stoffen en broeikasgassen uit stalgebouwen in de veehouderij op correcte wijze kunnen worden bepaald op basis van de actuele stand van wetenschappelijke kennis.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen (sterke) aanbevelingen en verplichtingen. In het laatste geval wordt hiermee geen juridische dwingendheid bedoeld maar wel dat het beschrevene wetenschappelijk gezien noodzakelijk is om te bereiken wat beoogd wordt.

Tevens moet een helder onderscheid gemaakt worden tussen emissies (een hoeveelheid van een stof dat per tijdseenheid, en eventueel eenheid van productie, uit een bron wordt uitgestoten) en een emissiefactor. Emissie is een wetenschappelijke-technische grootheid dat door onderzoekinstellingen of meetinstanties kan worden *bepaald*. Opzettelijk spreekt dit document niet van emissiefactoren. Een emissiefactor is een juridische grootheid dat een overheid wordt *vastgesteld* in regelgeving. Dit rapport is gericht op het bepalen van emissies. Afhankelijk van de context kunnen overheden emissiefactoren vaststellen door bijvoorbeeld emissies uit te drukken in bepaalde eenheden (bijvoorbeeld dierplaats) en/of te corrigeren (bijvoorbeeld voor leegstandperioden).

Dit document is naar zijn aard een **wetenschappelijk rapport** opgesteld door wetenschappelijke experts van meerdere kennisinstellingen. Het kan voorgeschreven worden als te volgen werkwijze in een bepaald toepassingsgebied, bijvoorbeeld door de rijksoverheid, bevoegd gezag of norminstituut. Door dit voor te schrijven wordt de toepassing van dit document een **protocol**.

Er moet een helder onderscheid gemaakt worden tussen een 'meetprotocol' en een 'meetplan'. Een meetprotocol is een generiek document dat algemene principes en methoden beschrijft die toegepast moeten worden om emissies op correcte wijze te bepalen. Een meetplan echter, is een operationeel document waarin voor een specifieke veehouderij-/onderzoekslocatie wordt aangegeven hoe emissies daar precies zullen worden bepaald. Meetplannen zijn reeds onderdeel van de werkwijzen van de Nederlandse Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) en het Vlaamse Wetenschappelijk Comité Luchtemissies Veehouderij (WeComV) om te komen tot een emissiefactor op basis van metingen op specifieke veehouderijbedrijven. Een meetplan kan ook verbonden zijn aan een doelvoorschriftvergunning uitgegeven door een bevoegd gezag aan een specifieke veehouderij. Een meetplan komt tot stand op basis van de generieke principes en methoden zoals omschreven in het te hanteren meetprotocol, de specifieke situatie van een te bemeten veehouderij, en mogelijk doelen en onderzoeksvragen die in een projectvoorstel of onderzoeksplan zijn beschreven.

2 Betekenis van afkortingen en begrippen

2.1 Betekenis van afkortingen

In dit document wordt met de volgende afkortingen het volgende bedoeld.

| Afkorting | Betekenis |
|-------------------|--|
| AEA | Ammoniak-emissie-arm, Vlaamse lijst huisvestingssystemen |
| AM | Alternatieve methode |
| BAL | Besluit activiteiten leefomgeving |
| BKG | Broeikasgassen |
| C | Koolstof |
| CH ₄ | Methaan |
| CIGR | International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering |
| CO ₂ | Koolstofdioxide |
| Dpl | Dierplaats: deel van een huisvestingssysteem bestemd voor het houden van één dier conform geldende wet- en regelgeving |
| DS | Drogestof |
| EM | Equivalentente methode |
| GC | Gaschromatograaf |
| IenW | Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat |
| LNV | Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit |
| ME | Metaboliseerbare energie |
| N | Stikstof |
| NH ₃ | Ammoniak |
| N ₂ O | Lachgas, distikstof(mono)oxide |
| NO _x | Het totaal van NO (stikstofmonoxide) en NO ₂ (stikstofdioxide) |
| OU _E | European Odour Units |
| P | Fosfor |
| PM | Particulate matter |
| PM ₁₀ | In lucht zwevende vloeibare en vaste deeltjes met aerodynamische diameters kleiner dan 10 micrometer (EN 12341) |
| PM _{2,5} | In lucht zwevende vloeibare en vaste deeltjes met aerodynamische diameters kleiner dan 2,5 micrometer (EN 12341) |
| ppm | Parts per million |
| Rav | Regeling ammoniak en veehouderij |
| Rgv | Regeling geurhinder en veehouderij |
| RVO | Rijksdienst voor Ondernemend Nederland |
| RE | Ruw eiwit |
| RV | Relatieve luchtvochtigheid |
| SRM | Standaard referentiemethode |
| T | Temperatuur |
| TAN | Totaal Ammoniakaal Stikstof: de hoeveelheid stikstof aanwezig in de vorm van ammoniak (NH ₃), ammonium (NH ₄) en makkelijk mineraliseerbaar organisch stikstof |
| TAP | Technische Advies Pool, een beoordelende en adviserende commissie binnen RVO |
| TSP | Total Suspended Particles |
| VERA | Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production |
| VRM | Voormalig: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu; thans: IenW |
| WeComV | Wetenschappelijk Comité Luchtemissies Veehouderij in Vlaanderen |

2.2 Betekenis van begrippen

In dit document wordt met de volgende begrippen het volgende bedoeld.

| Begrip | Betekenis |
|--------------------------------|---|
| Accuraatheid | Juistheid |
| Algemene erkenning | Het door een overheid met een emissiefactor opgenomen zijn in regelgeving van een interventie |
| Biofilter/Biobed | Installatie waarin de ventilatielucht door een volume van vochtig organisch pakkingsmateriaal wordt geleid teneinde stoffen uit de ventilatielucht te verwijderen |
| Dierplaats | Deel van een huisvestingssysteem bestemd voor het houden van één dier conform geldende wet- en regelgeving |
| Downtime | Tijdsduur van buiten werking zijn (zie ook: uptime) |
| Eindafdeling | Afgesloten gedeelte van een (varkens-)stal, gelegen aan de buitenkant van het stalgebouw waardoor deze mogelijk meer beïnvloeding van buitenaf ondervindt |
| Emissie | Een wetenschappelijk-technische grootheid die uitdrukt hoeveel van een stof per tijdseenheid, en eventueel eenheid van productie, uit een bron wordt uitgestoten |
| Emissiefactor | Een juridische grootheid van emissie dat door een overheid wordt vastgesteld in regelgeving |
| Huisvestingssysteem | Gedeelte van een dierenverblijf, waarin dieren van één diercategorie op dezelfde wijze worden gehouden. Die wijze omvat: de uitvoering van loop- en ligoppervlakken, mestverwijdering en eventuele mestopslag binnen het stalgebouw |
| Interventie | Datgene dat in of nageschakeld aan het stalgebouw toegepast wordt om emissies te verlagen. Voorbeelden van interventies zijn: huisvestingssystemen, staltechnieken, managementmaatregelen en nageschakelde technieken |
| Inhaleerbaar stof | In lucht zwevende vloeibare of vaste deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 100 micrometer (ISO 7708, EN 481) |
| Meetventilator | Instrument voor het bepalen van de hoeveelheid lucht die door (een deel van) een mechanisch geventileerd stalgebouw gevoerd wordt, zie ook werkventilator |
| Nageschakelde techniek | Een techniek dat nageschakeld wordt aan de ventilatiestroom uit het huisvestingssysteem om componenten uit de luchtstroom te verwijderen. Voorbeelden: luchtwassers, biofilters/biobedden, droogfilters, elektrostatische precipitatoren, warmtewisselaars en mestdroogtunnels |
| Potstal | Een stal waarin op de vloer een stro(oisel)bed aanwezig is waarop de dieren lopen, liggen, urineren en mesten en dat frequent (dagelijks, enkele malen per week) wordt voorzien van een verse laag stro(oisel). Het stro(oisel)pakket neemt toe in laagdikte over langere tijd (weken, maanden). Met "pot" wordt het stro(oisel)pakket bedoeld. |
| Stalgebouw | De ruwbouw van de stal waaronder gevels en dak. In het stalgebouw wordt een huisvestingssysteem toegepast |
| Staltechniek | Een techniek dat, aanvullend aan het stalgebouw en het huisvestingssysteem, toegepast wordt om emissies te verlagen |
| Stalsysteem | Zie: huisvestingssysteem |
| Systematische fout of verschil | Verschillen tussen gemeten en werkelijke waarden van een grootheid met een constante richting (te hoog, te laag) en grootte (absoluut danwel relatief) |
| Toevallige fout of verschil | Verschillen tussen gemeten en werkelijke waarden van een grootheid met willekeurige richtingen en groottes |
| Totaalstof | Zwevende vloeibare of vaste deeltjes die verzameld kunnen worden op filtercassettes |
| Total Suspended Particles | Verouderde term gebruikt door de US-EPA, vóór introductie van de term PM ₁₀ : zwevende vloeibare en vaste deeltjes met aerodynamische diameters tussen 25 en 50 micrometer, afhankelijk van windsnelheid en windrichting. TSP komt ongeveer overeen met PM ₃₅ |
| Tussenafdeling | Afgesloten gedeelte van een (varkens-)stal met eigen ventilatie, gelegen tussen andere afdelingen |
| Uptime | Tijdsduur van in werking zijn (zie ook: downtime) |
| Validiteit | De mate waarin een (meet)methode werkt zoals bedoeld |

| | |
|------------------|--|
| Ventilatiedebiet | De hoeveelheid lucht dat per tijdseenheid, en eventueel eenheid van productie, door een stalgebouw wordt gevoerd |
| Werkventilator | Apparaat dat voor een geforceerde luchtstroom in (een deel van) een stalgebouw zorgt en daarmee luchtverversing |
| Zuiverheid | De mate waarin een proefdesign het effect van een interventie kan onderscheiden van effecten van andere (versturende) factoren |

DEEL A: bepalen van emissies van huisvestingssystemen, staltechnieken en managementmaatregelen in het kader van een algemene erkenning

Versie

Januari 2024

Auteurs

Eva Brusselman, ILVO
Arjan Hensen, TNO
Loes Laanen, ILVO
Julio Mosquera, WLR
Nico Ogink, WLR
Gert Otten, VITO
An Verfaillie, ILVO
Jan Vonk, WLR
Albert Winkel, WLR

1 Inleiding

1.1 Context

Al meer dan dertig jaar wordt in de veehouderij gebruik gemaakt van documenten - richtlijnen of protocollen genoemd - die beschrijven hoe emissies uit stalgebouwen op correcte wijze kunnen worden bepaald in meetcampagnes gericht op het verkrijgen van algemene erkenningen van huisvestingssystemen, staltechnieken, managementmaatregelen en nageschakelde luchtreinigingstechnieken. Uit de periode 2011-2017 bestonden hiervoor in Nederland zes Wageningen Livestock Research Rapporten; één rapport per emitterende stof. Deze documenten waren anno 2023 toe aan integratie tot één document, actualisatie aan de stand van kennis, onderzoeksmogelijkheden en veehouderijpraktijk van het heden, en harmonisatie met de multinationale VERA Test Protocols. Het resultaat hiervan is dit deel A. Dit deel richt zich op algemene erkenningen van huisvestingssystemen, staltechnieken en managementmaatregelen. Deel B richt zich op algemene erkenningen van nageschakelde luchtreinigingstechnieken.

1.2 Doel

Dit document heeft als doel om te beschrijven hoe emissies uit stalgebouwen op correcte wijze kunnen worden bepaald in het kader van het verkrijgen van een algemene erkenning van huisvestingssystemen, staltechnieken en managementmaatregelen.

2 Organisatorische aspecten

2.1 Ontwikkelfase en definitieve fase

Bij het ontwerpen van een interventie (hetzij een huisvestingssysteem, staltechniek of managementmaatregel) kan onderscheid gemaakt worden in een ontwikkelfase en een definitieve fase. Het wordt sterk aanbevolen een ontwikkelfase te doorlopen alvorens de definitieve fase te starten, waaruit het werkingsmechanisme, optimale configuratie, stabiliteit/bedrijfszekerheid, afwezigheid van bijeffecten en veiligheid is gebleken. In de definitieve fase wordt van een (naar het oordeel van de producent) voldoende uitontwikkelde interventie de emissie of emissiereductie bepaald. **Wanneer de meetreeks eenmaal gestart is, zijn geen optimalisaties die invloed hebben op de emissies meer toegestaan.** Metingen in de definitieve fase starten ten vroegste wanneer alle stallen waarin gemeten wordt gedurende drie maanden effectief in gebruik zijn (dat wil zeggen exclusief eventuele downtime, leegstandsperioden en beweidingsuren). Dit teneinde een normaal niveau van bevulling te bereiken, en te voorkomen dat het reguliere emissieproces beïnvloed wordt door het eventuele uitreageren van gebruikte materialen.

2.2 Actoren en verantwoordelijkheden

Het vaststellen van de emissie en/of emissiereductie van een interventie kent doorgaans de volgende actoren:

1. de producent die een interventie wil laten onderzoeken;
2. de meetinstantie die het onderzoek uitvoert, waarbij al dan niet gebruik gemaakt wordt van onderzoekslocatie(s) in eigen beheer of van derden;
3. de veehouder(s) die hun veehouderij beschikbaar stellen als onderzoekslocatie.

De producent is verantwoordelijk voor:

- het beschikbaar stellen van een volledige beschrijving van de te beproeven interventie aan de meetinstantie;
- het beschikbaar stellen van gedetailleerde instructies met betrekking tot gebruik/bediening, controle, onderhoud, veiligheid, milieu, gezondheid en te nemen acties bij calamiteiten;
- het vastleggen van variabelen gerelateerd aan het functioneren van de interventie;
- het voorleggen van het meetplan aan een adviserend orgaan zoals de RVO/TAP of WeComV;
- het indienen van de rapportage bij een adviserend orgaan zoals de RVO/TAP of WeComV voor het verkrijgen van een algemene erkenning.

Tijdens de definitieve fase is toegang tot de onderzoekslocatie voor de producent alleen toegestaan in het bijzijn van de meetinstantie.

De meetinstantie is verantwoordelijk voor:

- het opstellen van een beschrijving van de veehouderij/onderzoekslocatie;
- het opstellen van een meetplan per veehouderij/onderzoekslocatie;
- het bieden van technische ondersteuning aan de producent bij het voorleggen van het meetplan aan een adviserend orgaan zoals de RVO/TAP of WeComV;
- het uitvoeren van het onderzoek (metingen, datacontrole, -verwerking en -analyse, rapportage);
- het opstellen, controleren en eventueel aanvullen van het door de veehouderij/onderzoekslocatie bijgehouden logboek (zie volgende actor);
- het berekenen van de uptime en downtime van de interventie.

De veehouderij/onderzoekslocatie is verantwoordelijk voor:

- het verzamelen en beschikbaar stellen van de informatie nodig voor het opstellen van een beschrijving van de veehouderij/onderzoekslocatie;
- het verzamelen en beschikbaar stellen van gegevens met betrekking tot dieren, technische resultaten, enzovoort, zoals dit in het meetplan is beschreven;
- het bijhouden van een logboek ten aanzien van het functioneren van de interventie. Dit logboek bevat data/tijden van optreden van problemen, de aard van het probleem, mogelijke oorzaken van het probleem, de ondernomen actie, het effect van de actie, en de tijd besteed aan het probleem;
- het bijhouden en doorgeven aan de meetinstantie van de tijd besteed aan problemen met de interventie;
- het indienen van de rapportage bij een adviserend orgaan zoals de RVO/TAP of WeComV in geval van een veehouderij, voor het verkrijgen van een algemene erkenning.

2.3 Eisen aan de meetinstantie

Op dit moment wordt door de rijksoverheid onderzocht op welke manier metingen kunnen worden genormeerd. In afwachting van de uitkomsten hiervan dient een meetinstantie aan te tonen dat de uitgevoerde metingen van goede kwaliteit zijn door te voldoen aan minimaal één van de onderstaande voorwaarden:

Voorwaarde A: beschikken over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2018 accreditatie, met verwijzing naar de relevante normen in de scope en inachtneming van deze richtlijnen en beschikken over kennis van de veehouderij en het meten van emissies in die sector.

Voorwaarde B: beschikken over een Vlaamse VLAREL erkenning voor pakket L.19 Bepaling van emissies van NH₃-verwijderingsrendement van gaswassers, opgenomen in de lijst van ammoniakemissiearme stallen en beschikken over kennis van de veehouderij en het meten van emissies in die sector.

Voorwaarde C: voldoen aan onderstaande kwaliteitsvereisten. De minimale vereisten voor de uitvoering van de metingen worden vermeld in de hoofdstukken A6 en A7.

- De meetinstantie heeft kennis van de veehouderij en het meten van emissies in die sector.
- Enkel personen die bevoegd zijn voor het uitvoeren van (delen van) beproevingen mogen deze uitvoeren. De registratie van opleidingen van personeel voor deze bevoegdverklaring is verplicht, net als het bijhouden van een overzicht welke personen voor welke (delen van) beproevingen bevoegd zijn.
- Naast een initiële opleiding moet het behoud van competenties door bevoegde personen worden aangetoond. Dit houdt in dat ieder bevoegd persoon minimaal jaarlijks elke beproeving waarvoor hij/zij bevoegd is moet uitvoeren. Ook dit moet worden geregistreerd.
- Per meting moet worden geregistreerd wie deze heeft uitgevoerd.
- Voor elke beproeving moet men beschikken over een eigen uitgeschreven procedure. Deze moet steeds up-to-date zijn. Wijzigingen moeten steeds duidelijk worden aangegeven. Volgende prestatiekenmerken dienen per gemeten parameter te worden bepaald:
 - juistheid (bv. op basis van resultaten ringtesten);
 - detectielimiet;
 - range waarin correcte meting gegarandeerd kan worden;
 - meetonzekerheid.

De wijze waarop voldaan is aan de kwaliteitsvereisten onder Voorwaarde C worden opgenomen in het meetplan en in de rapportage.

2.4 Conformiteit regelgeving diergezondheid, dierwelzijn en veiligheid

De veehouderij/onderzoekslocatie, de te onderzoeken interventie en de onderzoeksactiviteiten moeten voldoen aan de vereisten met betrekking tot diergezondheid, veterinaire zorg, dierwelzijn, en veiligheid zoals die in geldende wet- en regelgeving worden voorgeschreven.

2.5 Meetplan

De aard van een meetplan en het verschil met een meetprotocol is omschreven in paragraaf A1.5. Het opstellen van een meetplan per veehouderij/onderzoekslocatie is wetenschappelijk gezien een vereiste om te komen tot kwaliteitsvolle metingen. **Het wordt sterk aanbevolen om meetplannen voor de start van de metingen voor te leggen aan een beoordelend/adviserend orgaan zoals de RVO/TAP in Nederland of het WeComV in Vlaanderen.** Op die manier wordt het risico op discussies omtrent het meetrapport (dat voor het verkrijgen van een algemene erkenning ter beoordeling overlegd zal moeten worden) aanzienlijk verkleind. Informatie rond de procedures die hiervoor gevolgd dienen te worden zijn terug te vinden op volgende locaties:

In Nederland:

<https://www.rvo.nl/onderwerpen/innovatieve-stalsystemen>

In Vlaanderen:

<https://www.vlm.be/nl/themas/waterkwaliteit/Mestbank/mest/Emissiereducerende-maatregelen-voor-de-veeteelt/Paginas/default.aspx>

Onder de kop 'Aanvraagformulieren': Fase 1 – Aanvraag tot goedkeuring van een meetplan

3 Beschrijving onderzoekslocatie en te onderzoeken interventie

3.1 Beschrijving veehouderij/onderzoekslocatie

Voorafgaand aan het onderzoek stelt de meetinstantie van elke veehouderij/onderzoekslocatie een beschrijving op. Deze beschrijving maakt onderdeel uit van het meetplan. De beschrijving is tevens onderdeel van de rapportage van het onderzoek. De beschrijving bevat alle aspecten die relevant zijn voor bedrijfsuitrusting, bedrijfsvoering, te onderzoeken interventie en emissie. De beschrijving bevat (indien van toepassing maar tegelijk niet uitputtend) in ieder geval de volgende aspecten.

Stalgebouw en huisvestingssysteem

- Bouwjaar
- Rav- of AEA-code en bijbehorende beschrijving huisvestingssysteem
Bijbehorende emissiefactoren voor ammoniak, geur en fijnstof
- Oriëntatie lengterichting stal (bijvoorbeeld ZW-NO)
- Lengte, breedte, goothoogte en nokhoogte van het stalgebouw en (indien aanwezig) de afdelingen binnen het stalgebouw
- Lengte, breedte en oppervlak (m²) van het dierenverblijf in het stalgebouw
- Indeling van het stalgebouw (gangen, afdelingen, hokken, enzovoort)
- Diepte (keldervloer tot onderkant loopvloer) van mestkelders onder het stalgebouw
Beschrijving of tekening van aanwezige keldergangen en mixpunten
Totale drijfmestopslagcapaciteit (m³)
Drijfmestopslagcapaciteit per dierplaats (m³/dierplaats)
- Beschrijving van aanwezige vormen van thermische isolatie

Dieren

- Diersoort
- Ras dieren
- Aantal dierplaatsen: het aantal geplaatste dieren aan het begin van een groeironde en/of het aantal dieren dat in de stal aanwezig mag zijn conform geldende wet- en regelgeving
- Leefoppervlak: het aantal dieren per m² vloeroppervlak en leefoppervlak (gangbaar bij pluimvee) of het aantal m² vloeroppervlak per dier (gangbaar bij rundvee en varkens)
- Bezettingsgraad: fractie/percentage van het aantal beschikbare dierplaatsen dat daadwerkelijk in gebruik is
- Gemiddelde diergewicht of het gewichtstraject in combinatie met het leeftijds traject

Bedrijfsinrichting/installaties

- Beschrijving huisvestingssysteem, inclusief uitvoering van hokken, vloeren, ligplaatsen, enzovoort
- Plattegrond van het stalgebouw/dierenverblijf
- Beschrijving wijze van mestverwijdering
- Beschrijving voersysteem
- Beschrijving drinkstelsel
- Beschrijving verwarmingssysteem
- Beschrijving koelsysteem
- Beschrijving verlichtingssysteem
- Beschrijving (overdekte) uitlopen, inclusief inrichting en uitloopopeningen
- Beschrijving melkinstallatie (melkgevende dieren)

Ventilatie en klimaat

- Beschrijving van luchtinlaatsysteem, eventueel luchtverdeelsysteem en luchtuitlaatsysteem

- Aantal, afmetingen en plaatsing van luchtinlaten en -uitlaten
- Merk, type, aantal, interne diameter, plaatsing, capaciteit (m³/uur), regeling (aan/uit, frequentie geregeld, enz.) van ventilatoren
- Merk, type, aantal van meetwaaiers en smoorunits
- Ventilatie-instellingen en ventilatieregime (opbouw van ventilatoren/ventilatorgroepen)
- Temperatuurinstellingen

Bedrijfsmanagement

- Voersoorten en voeradditieven, inclusief nutritionele waarden
- Voertijden, ad libitum of gerantsoeneerd, aanschuiftijden
- Watertijden
- Strooiselgebruik: soort, hoeveelheid, frequentie en manier van verspreiding
- Beweiding: aantal uren per jaar, gangbare tijdsverdeling over de dag
- (overdekte) Uitlopen: toegangstijden
- Melktijden
- Wijze en frequentie van mestverwijdering
- Het lichtregime (XXL:XXD) en de verlichtingstijden
- Veterinaire behandelingen, uitval(-momenten)
- Schoonmaakregime tussen rondes

Productiecyclus

- Beschrijving productiecyclus
- Duur van de leegstand tussen rondes

Visualisaties van belangrijke aspecten van bedrijfsinrichting en bedrijfsmanagement, emissieprocessen en metingen

- Schematische weergave (milieutekening) met de ligging van bedrijfsgebouwen en hun functie. De tekening bevat tevens voer- en mestopslagen, evenals locaties van eventuele mestbe- of -verwerkingsstappen
- Foto's

Aanbevolen wordt in openbare rapportages af te zien van het gebruik van visualisaties waarop elementen te zien zijn die informatie bevatten over de identiteit van de veehouderij/onderzoekslocatie, zoals: personen, oormerknummers, kentekenplaten van voertuigen, bedrijfsaanzichten of omgevingskenmerken buiten de bedrijfslocatie.

3.2 Beschrijving te onderzoeken interventie

Voorafgaand aan het onderzoek stelt de producent een systeembeschrijving van de interventie op. Deze beschrijving is onderdeel van het meetplan. De beschrijving is tevens onderdeel van de rapportage van het onderzoek.

De interventies die worden beproefd volgens deel A kunnen sterk uiteenlopen wat betreft aard en werkingsprincipe: van bijvoorbeeld een drijfmestadditief ter vermindering van ammoniak tot een ionisatietechniek ter vermindering van fijnstof. Vanwege deze diversiteit wordt in deze paragraaf enkel op hoofdlijnen aangegeven hoe de beschrijving van een te onderzoeken interventie vorm gegeven wordt.

De beschrijving bevat (indien van toepassing) de volgende aspecten:

- de aard van de interventie (wat is het);
- de specifieke identiteit van de interventie: merk, model, type, productnaam, enz. (welke is het);
- de aspecten waarin de interventie verschilt van eerdere modellen/types of soortgelijke interventies al aanwezig op de markt;
- de technische werking van de interventie (hoe functioneert het);
- het werkingsprincipe waarlangs emissie ontstaat of gereduceerd wordt (hoe werkt het);

-
- veilige toepasbaarheid van de interventie in fysisch, chemisch of biologisch opzicht, inclusief mogelijke effecten op (rest-)producten als vlees, melk, eieren, mest, spuiwater etc.;
 - de te verwachten omvang van het reducerend effect van de interventie op de emissies;
 - eventuele opstarttijd van de interventie totdat de omvang van het effect volledig is en eventuele nadelige effecten die optreden nadat toepassing van de interventie beëindigd is;
 - de parameters die de werking van de interventie in termen van emissie positief dan wel negatief beïnvloeden;
 - essentiële operationele parameters die van doorslaggevend belang zijn voor het functioneren en tijdens het onderzoek gemonitord moeten worden;
 - onderhoud van de interventie;
 - een beschrijving en kwantificering van inputs en outputs (vloeistoffen, materialen, energie, afval, enz.);
 - visualisaties van de interventie middels een schematische tekening en/of foto's.

4 Proefdesigns en onderzoekslocaties

4.1 Uitgangspunten

Het proefdesign is het concept waarmee een zuivere basis voor vergelijking wordt nagestreefd. Dat wil zeggen: waarmee de emissie, de emissiereductie of het verwijderingsrendement van de te onderzoeken interventie wordt vastgesteld terwijl versturende effecten van niet aan de interventie verbonden factoren juist zo veel mogelijk worden geminimaliseerd. De proefdesigns staan weergegeven in Figuur 4.1. Het uitgangspunt is dat er een proefdesign gekozen wordt met een zo hoog mogelijke zuiverheid van de vergelijkingsbasis.

Bedacht moet worden dat het kwantificeren van de emissie of emissiereductie van een interventie ten opzichte van een referentie moeilijker wordt naarmate het verschil met de referentie (= de omvang van het effect) kleiner wordt. Interventies met een klein effect vergen een zuiverder proefdesign en meer onafhankelijke vergelijkingen (waarnemingen) dan interventies met een groot effect om dat effect aan te tonen boven de ruis in de waarnemingen. Dit is dus mede afhankelijk van de onzekerheid in de (meet)methoden die ten behoeve van het onderzoek toegepast worden.

4.2 Beschrijving van de proefdesigns en hun criteria

4.2.1 Proefdesign 1a. Case-control met identieke proefeenheden en wisseling van interventie over proefeenheden

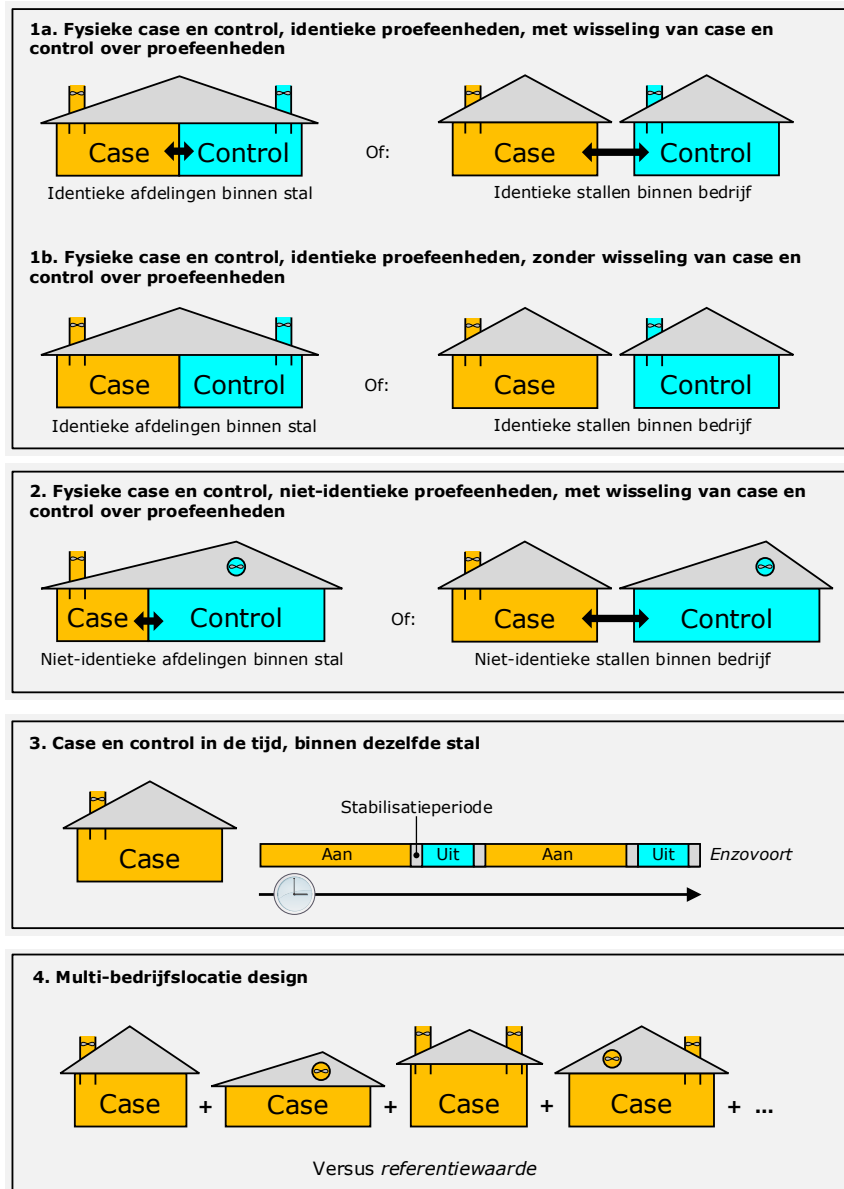
Proefdesign 1a heeft de hoogste mate van zuiverheid. Er wordt een interventie toegepast in een case-afdeling binnen een stal (Fig. 4.1, links) of in een case-stal binnen een bedrijf (Fig. 4.1, rechts). Een (vrijwel) identieke proefeenheid, dat wil zeggen afdeling of stal maar zonder de interventie, dient als control. Aan case en control wordt gelijktijdig gemeten. Om een eventuele versturende invloed van de afdeling of stal te neutraliseren, wordt de interventie in de tijd afgewisseld tussen de proefeenheden. Wanneer er een systematisch verschil bestaat in emissie tussen case en control, mag dit verschil (het effect) worden toegeschreven aan de interventie.

De situatie van identieke afdelingen binnen een stal komt geregeld voor in varkensstallen. De situatie van identieke stallen binnen een bedrijf komt geregeld voor bij pluimveebedrijven, zoals meerdere vleeskuikenstallen die gelijktijdig zijn gebouwd en waar via het all-in-all-out principe dieren van gelijke leeftijd aanwezig kunnen zijn. Proefbedrijven bieden eveneens vaak goede mogelijkheden tot het uitvoeren van case-controlonderzoek in de verschillende diercategorieën. Het identiek zijn betreft idealiter alle aspecten van de afdeling of stal: de ruwbouw inclusief thermische isolatie en daglichttoetreding, het huisvestingssysteem, de inrichting/installaties, de dieren, het voeder en het bedrijfsmanagement (zie voor een lijst van aspecten hoofdstuk A3.1). In de situatie van identieke afdelingen binnen een stal (Fig. 4.1, links) mogen geen tussenafdeling en eindafdeling met elkaar worden vergeleken. Afdelingen of stallen worden als identiek beschouwd wanneer op de aspecten dieraantal, diergewicht, rantsoen en ventilatie er sprake is van verschillen kleiner dan 5% (tenzij deze aspecten onderdeel zijn van de interventie).

Het wisselen van de interventie kan plaatsvinden door deze te verschuiven van de ene proefeenheid naar de andere, ofwel door de interventie in beide proefeenheden te installeren maar afwisselend in werking en buiten werking te stellen. Voor de frequentie van de wisseling en de duur van een vergelijkingsperiode, moet (mogelijk per diersoort of veehouderij/onderzoekslocatie) een weloverwogen en onderbouwde keuze worden gemaakt. Bij diersoorten met patronen over de ronde (biggen, vleesvarkens, vleeskuikens, vleeskalkoenen, vleeskalveren) kunnen wisselingen plaatsvinden in de leegstandsperiode tussen rondes in. Bij het kiezen van wisselfrequentie en periodeduur moet rekening gehouden worden met een eventuele opstarttijd van de

interventie totdat de omvang van het effect volledig is. Pas dan kan de case worden vergeleken met de control. Ook moet rekening gehouden worden met eventuele na-ijleffecten van een interventie in de daaropvolgende periode. Om na-ijleffecten te voorkomen kan het nodig zijn de wisseling te laten samenvallen met het einde van een groeironde bij groeiende dieren, afdelingen/stallen bij wisseling te reinigen of mestkelders bij de wisseling af te laten/leeg te pompen.

In de uitgangssituatie/als control wordt een conventioneel huisvestingssysteem toegepast (Rav-code x.100) of een doorgemeten emissiearm systeem dat voldoet aan het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) Bij toepassing van dit proefdesign wordt aanbevolen de gelijkwaardigheid van proefeenheden aan te tonen, zie hiervoor paragraaf A4.3.



Figuur 4.1 Schematisch overzicht van de binnen deel A onderscheiden proefdesigns.

4.2.2 Proefdesign 1b. Case-control met identieke proefeenheden zonder wisseling van interventie over proefeenheden

Proefdesign 1b heeft een goede mate van zuiverheid. Proefdesign 1b is gelijk aan 1a behalve dat de toepassing van de interventie niet wordt gewisseld over de proefeenheden omdat dit technisch onmogelijk of zeer kostbaar is. Dit betekent dat in proefdesign 1b versturende effecten van afdelingen of stallen de resultaten kunnen vertekenen. Dit dient gecompenseerd te worden door voor toepassing van de interventie het verschil tussen afdelingen of stallen te bepalen (voormeting) en het aantal case- en controlafdelingen binnen een stal dan wel het aantal stallen binnen bedrijf of het aantal veehouderijen/onderzoekslocaties te vergroten.

In de uitgangssituatie/als control wordt ook bij dit proefdesign een conventioneel huisvestingssysteem toegepast (Rav-code x.100), of een doorgemeten emissiearm systeem dat voldoet aan het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal). Bij toepassing van dit proefdesign is het aantonen van vergelijkbaarheid tussen proefeenheden verplicht, zie hiervoor paragraaf A4.3.

4.2.3 Proefdesign 2. Case-control met niet-identieke proefeenheden en wisseling van interventie over proefeenheden

Proefdesign 2 heeft een goede mate van zuiverheid. Proefdesign 2 is gelijk aan 1a behalve dat de proefeenheden niet identiek zijn. In een dergelijke situatie kan er soms toch betekenisvol worden vergeleken. In de praktijk zal dit gaan om stallen binnen een bedrijf die niet (geheel) identiek zijn. Niet-identieke afdelingen binnen een stal komen minder vaak voor. De proefeenheden zullen in praktijk met name verschillen op de aspecten van het stalgebouw, de bedrijfsinrichting/installaties en ventilatie/klimaat terwijl aspecten van de dieren en het bedrijfsmanagement wel identiek zijn of identiek gemaakt kunnen worden (zie hoofdstuk A3.1 voor een verbijzondering van deze aspecten).

Aspecten die niet-identiek zijn en niet of niet eenvoudig identiek gemaakt kunnen worden, betreffen bijvoorbeeld:

- de grootte van de stal in termen van oppervlak en inhoud;
- de mate van thermische isolatie van het stalgebouw;
- het totale aantal dieren in de stal;
- het huisvestingssysteem;
- de installaties in de stal, inclusief het ventilatiesysteem;
- beïnvloeding door eventueel aanwezige stoorbronnen.

Aspecten die identiek zijn of gemaakt zouden kunnen worden, betreffen:

- de weersomstandigheden (zoals buitentemperatuur, windrichting en windsnelheid);
- het ras, de leeftijd en het gewicht van de dieren;
- de bezettingsgraad: het aantal dieren per m² vloeroppervlak en leefoppervlak (gangbaar bij pluimvee) of het aantal m² loopvloeroppervlak per dier (gangbaar bij rundvee en varkens)
- de samenstelling en hoeveelheid voer;
- strooiselgebruik: soort, hoeveelheid, frequentie en manier van verspreiding;
- de temperatuurinstellingen en ventilatie-instellingen;
- voertijden, aanschuiptijden, drinktijden en melktijden;
- het lichtregime (XXL:XXD) en de verlichtingstijden.

Bij keuze voor dit proefdesign moeten de proefeenheden zo veel mogelijk vergelijkbaar gemaakt worden. De vergelijkbaarheid van niet-identieke proefeenheden dient verder te worden vergroot door installaties die wel aanwezig zijn in de ene proefeenheid, maar niet in de andere, buiten werking te stellen, mits de functie van de installatie dat toelaat. In het meetplan moet worden opgenomen hoe de proefeenheden oorspronkelijk waren, welke aspecten aangepast zijn, in welke mate proefeenheden daarna vergelijkbaar zijn geworden, welke effecten verwacht worden van de resterende verschillen en in welke mate deze effecten naar verwachting geneutraliseerd gaan worden door wisselfrequentie, wisselduur en het aantal onafhankelijke vergelijkingen die verkregen worden. In de uitgangssituatie/als control wordt ook bij dit proefdesign een conventioneel huisvestingssysteem toegepast (Rav-code x.100), of een doorgemeten emissiearm systeem dat voldoet aan het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal). Bij toepassing van dit proefdesign is vervolgens

het aantonen van vergelijkbaarheid tussen proefeenheden verplicht, zie hiervoor paragraaf A4.3. De lagere mate van zuiverheid kan verder gecompenseerd worden door het aantal case- en controlafdelingen binnen een stal dan wel het aantal stallen binnen het bedrijf, of het aantal veehouderijen/onderzoekslocaties te vergroten.

Indien wisseling van de interventie over de proefeenheden niet mogelijk is, kan er geen case-control onderzoek worden uitgevoerd op betreffende veehouderij/onderzoekslocatie. Een dergelijk design heeft een matig niveau van zuiverheid, waardoor versturende effecten van afdelingen of stallen de resultaten sterk kunnen vertekenen en verder niet of nauwelijks te kwantificeren zijn.

4.2.4 Proefdesign 3. Case-control in de tijd, binnen dezelfde stal

Proefdesign 3 heeft een goede mate van zuiverheid. Er wordt een interventie toegepast in een afdeling of stal. Deze interventie is daar continu in werkzaam zodat het lange termijn functioneren van de interventie zo goed mogelijk tot uiting komt. Met een zekere frequentie en duur wordt de interventie tijdelijk buiten bedrijf gesteld (uit-periode). Zowel in de aan- als in de uit-periode wordt de emissie gemeten. De metingen bedragen minimaal 24 uur of een veelvoud daarvan (voor geur twee uur tussen 09:00 en 13:00). Een meting in de aan-periode en de daaropvolgende meting in de uit-periode vormen een paar (gepaarde waarnemingen). Het effect van de interventie is het verschil in emissie op basis van de gepaarde waarnemingen. De meting in de aan-periode en de meting in de uit-periode dienen zo dicht mogelijk bij elkaar te worden gepland zodat aspecten die de emissie beïnvloeden en in de tijd geleidelijk veranderen vergelijkbaar zijn tussen beide. Bij niet-groeiende dieren is de volgorde van aan- en uit-metingen niet belangrijk. Bij groeiende dieren met een lineair dan wel exponentieel toenemend emissiepatroon (zie hoofdstuk A5) dient de volgorde van aan- en uit-metingen te worden afgewisseld omdat een vaste volgorde van aan- en uit-metingen een systematische fout zou introduceren. Dit omdat de aan- of uit-meting anders telkens samen zal vallen met ofwel een iets hogere ofwel een iets lagere emissie. **Dit proefdesign is uitsluitend mogelijk wanneer er geen of korte (uren tot enkele dagen) na-ijleffecten bestaan die vanuit de aan-periode kunnen doorlopen tot in de uit-periode en wanneer er geen of korte opstarteffecten bestaan, zodat de stabilisatieperiodes kort gehouden kunnen worden.** De duur van aan-, uit- en stabilisatieperioden wordt onderbouwd gekozen en toegelicht in zowel het meetplan als de uiteindelijke rapportage.

4.2.5 Proefdesign 4. Multi-bedrijfslocatiedesign

Proefdesign 4 heeft een redelijk niveau van zuiverheid die verder afhankelijk is van het aantal veehouderijen/onderzoekslocaties: de mate van zuiverheid neemt toe met het aantal veehouderijen/bedrijfslocaties. Er wordt een interventie toegepast in een afdeling of in een stal van meerdere veehouderijen/onderzoekslocaties. Op deze veehouderijen/onderzoekslocaties is geen controleafdeling of controlestal aanwezig. Er wordt een absoluut niveau van emissie vastgesteld in deze steekproef van n veehouderijen/onderzoekslocaties. Dit niveau is de uitkomst. De relatief lage mate van zuiverheid heeft enerzijds te maken met de kleine steekproef van veehouderijen/onderzoekslocaties en anderzijds met het feit dat de emissie van veehouderijen met een identiek huisvestingssysteem een grote mate van variatie (tussenbedrijfsvariatie) kent. Om die reden heeft het waar mogelijk toepassen van een case-control opzet, of combinatie de voorkeur.

4.3 Aantonen gelijkwaardigheid proefeenheden

Bij toepassing van proefdesign 1a wordt aanbevolen, en bij proefdesigns 1b en 2 is het verplicht, om de gelijkwaardigheid van proefeenheden aan te tonen.

Het aantonen van de gelijkwaardigheid van proefeenheden vindt plaats door een vergelijkende meetperiode voorafgaand aan het installeren of in gebruik nemen van de interventie, met een duur van minimaal zes maanden én minimaal twee volledige groeirondes omvattend. Bij diercategorieën met korte productierondes waarborgt dit dat verschillen in (omgevings-)omstandigheden voldoende worden meegewogen. Als twee rondes samen langer dan een half jaar duren dat deze volledig in beschouwing worden genomen. Continu

worden gemeten: temperatuur en relatieve luchtvochtigheid, de luchtconcentraties van CO₂, en (indien de component van interesse) de luchtconcentraties van ammoniak en methaan. Continue metingen worden gevalideerd aan de hand van drie over de meetperiode gespreide discontinue metingen, met de van toepassing zijnde Standaard Referentie Methode (SRM) en zoals beschreven in hoofdstuk A7. Ventilatie-debietten worden gemeten zoals beschreven in hoofdstuk A6. Emissies worden berekend zoals beschreven in hoofdstuk A8.

De continu gemeten emissies worden geaggregeerd tot gemiddelden op weekniveau (dat wil zeggen: tenminste 26 waarden over zes maanden). Vervolgens worden de absolute verschillen in emissies (nog steeds op weekniveau) tussen de proefeenheden berekend. De basis voor toetsing zijn de absolute verschillen op weekniveau. Aan de hand van een t-toets moet worden getoetst of het gemiddelde verschil statistisch significant afwijkt van de waarde nul. Alleen wanneer dit niet het geval is, kunnen de proefeenheden gebruikt worden in proefdesigns 1b en 2. Het is hierbij niet toegestaan een schaalfactor te gebruiken om de emissies van case en control gelijk te stellen. Reden hiervoor is dat het effect van een interventie verstrengeld kan zijn met effecten op afdelings- of stalniveau, waardoor een ondefinieerbare bias zou ontstaan.

4.4 Aantallen veehouderijen/onderzoekslocaties

Afhankelijk van het proefdesign worden de volgende aantallen veehouderijen/onderzoekslocaties toegepast met dien verstande dat het hier gaat om **minimale** aantallen. Een groter aantal zal doorgaans leiden tot een kleinere onzekerheid in de uiteindelijk vastgestelde gemiddelde emissie(-reductie) van de interventie.

Proefdesign 1a:

- ≥ 2 locaties

Proefdesign 1b:

- ≥ 3 locaties

Proefdesign 2:

- ≥ 3 locaties

Proefdesign 3:

- ≥ 2 locaties met zes onafhankelijke en gespreide aan/uit-vergelijkingen per locatie
- ≥ 3 locaties met vier onafhankelijke en gespreide aan/uit-vergelijkingen per locatie
- ≥ 4 locaties met drie onafhankelijke en gespreide aan/uit-vergelijkingen per locatie
- ≥ 6 locaties met twee onafhankelijke en gespreide aan/uit-vergelijkingen per locatie

Proefdesign 4:

- ≥ 4 locaties

Bij proefdesigns 1a, 1b en 2 kan maximaal één locatie (dus 1 case-control proefeenheid) vervangen worden door twee locaties met proefdesign 4. In dat geval wordt aanbevolen eerst het deel van het onderzoek uit te voeren dat plaatsvindt met het case-control proefdesign en pas wanneer dit perspectievolle resultaten toont, het deel met de twee locaties met proefdesign 4, in plaats van andersom (een gelijktijdige uitvoering behoort ook tot de mogelijkheden).

4.4.1 Bemeetbaarheid van meetlocatie

Veehouderijen/onderzoekslocaties moeten technisch accuraat te bemeten zijn. Dit betekent onder andere het volgende.

- Het aantal emissiepunten in het stalgebouw moet dusdanig zijn dat er een representatieve bemonstering/meting kan plaatsvinden. Dit moet beoordeeld en beargumenteerd worden per meetlocatie en is afhankelijk van de homogeniteit van de betreffende luchtverontreinigende stoffen en/of broeikasgassen in de stal. Een juiste keuze van meetposities (zie paragraaf A5.4) is hierbij van groot belang en kan geverifieerd worden aan de hand van het in NEN-EN 15259:2007 beschrevene, of het uitvoeren van computational fluid dynamics (CFD) modellering dan wel rookproeven.

-
- Eindafdelingen hebben ten opzichte van tussenafdelingen een extra buitengevel waardoor hun emissie kan afwijken van tussenafdelingen. Dit kan de zuiverheid van het proefdesign verlagen. Om die reden wordt afgeraden om eindafdelingen te gebruiken.
 - Stallen met overdekte of vrije uitlopen kunnen tijdens de perioden waarin deze in gebruik zijn niet worden bemeten omdat de onderdruk in de stal bij open uitloopschuiven zeer laag is en emissie door die openingen ongecontroleerd optreedt. Daarbij verhoogt de inschatting van het aantal dieren dat zich buiten bevindt eveneens de onzekerheid in het resultaat.

4.4.2 Representativiteit van meetlocatie en landbouwkundige randvoorwaarden

Veehouderijen/onderzoekslocaties waar metingen plaatsvinden in het kader van een algemene erkenning moeten representatief zijn voor de veehouderijsector waartoe de interventie is bedoeld. Dit in contrast tot de in deel C beschreven continue monitoring van emissies, in het kader van doelsturing op een specifiek bedrijf.

De veehouderijen/onderzoekslocaties voldoen aan de landbouwkundige randvoorwaarden zoals beschreven in de bijlagen.

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

5 Meetstrategie

5.1 Uitgangspunten

Het uitgangspunt in deel A is dat emissies waar mogelijk continu worden gemeten gedurende minimaal één jaar. Dit is momenteel technisch mogelijk voor ammoniak en methaan, optioneel ook lachgas maar dit alleen met verhoudingsgewijs kostbare analyzers. Naast de continue meting worden er per veehouderij/onderzoekslocatie minimaal zes discontinue metingen met de SRM uitgevoerd ter verificatie en/of om een locatiespecifieke veldkalibratie te verkrijgen. Continue metingen zijn thans nog niet mogelijk voor fijnstof, geur en bioaerosolen. In dat geval worden er discontinue metingen uitgevoerd. Uit kostenoverwegingen mag hier voor lachgas eveneens mee worden volstaan. Dit betreffen metingen met een duur van 24 uur of een veelvoud daarvan (voor geur twee uur tussen 09:00 en 13:00). Er worden minimaal zes van dergelijke metingen uitgevoerd per veehouderij/onderzoekslocatie, gespreid over het jaar en de productieperiode van de dieren. De meetperiodes van de verschillende veehouderijen/onderzoekslocaties hoeven niet samen te vallen met het kalenderjaar en de aanvang mag verschillen per locatie.

5.2 Continue metingen

Er wordt gebruik gemaakt van continue (sensor)meetsystemen welke voldoen aan de eisen uit deel D 'ontwikkeling en validatie van (sensor-)meetsystemen voor continue meting van gasconcentraties'.

5.3 Discontinue metingen

De verdeling van de metingen over het jaar en de productieperiode van de dieren hangt af van het emissiepatroon van de betreffende diercategorie. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen diercategorieën met een gemiddeld stabiel emissiepatroon, diercategorieën met een rechtlijnig toenemend emissiepatroon (als gevolg van groei gedurende een productieronde), en diercategorieën met een exponentieel toenemend emissiepatroon (als gevolg van groei gedurende een productieronde).

Dieren met een gemiddeld stabiel emissiepatroon zijn:

| Hoofdcategorie | Diercategorie |
|-----------------|---|
| A. Rundvee | Melk- en kalfkoeien > 2 jaar Zoogkoeien > 2 jaar Vrouwelijk jongvee tot 2 jaar Fokstieren en overig rundvee > 2 jaar |
| B. Schapen | Schapen > 1 jaar inclusief lammeren tot 45 kg |
| C. Geiten | Geiten > 1 jaar |
| D. Varkens | Guste en dragende zeugen |
| E. Kippen | Legkippen en (groot-)ouderdieren van legrassen (Groot-)ouderdieren van vleeskuikens |
| F. Kalkoenen | Ouderdieren van vleeskalkoenen > 30 weken |
| G. Eenden | Ouderdieren van vleeseenden tot 2 jaar |
| I. Konijnen | Voedsters inclusief 0,15 ram en bijbehorende jongen tot spenen |
| K. Paarden | Volwassen paarden > 3 jaar Paarden in opfok < 3 jaar Volwassen pony's > 3 jaar Pony's in opfok < 3 jaar |
| L. Struisvogels | Struisvogelouderdieren |

Dieren met een rechtlijnig toenemend emissiepatroon zijn:

| Hoofdcategorie | Diercategorie | Gemiddelde groeiperiode (dagen) |
|-----------------|---|---------------------------------|
| A. Rundvee | Vleeskalveren tot circa 8 maanden | 180 tot 248 |
| | Vleesstieren en overig vleesvee van circa 8 tot 24 maanden | 548 |
| C. Geiten | Opfokgeiten van 61 dagen tot 1 jaar | 304 |
| | Opfokgeiten en afmestlammeren tot 60 dagen | 60 |
| D. Varkens | Biggenopfok (gespeende biggen) | 42 |
| | Kraamzeugen (incl. biggen tot spenen) | 40 |
| | Vleesvarkens van 25 kg tot 110 kg (ook opfokberen en opfokzeugen) | 110 |
| E. Kippen | Opfokhennen en hanen < 18 weken | 126 |
| | Opfok (groot)ouderdieren van vleeskuikens < 19 weken | 133 |
| F. Kalkoenen | Opfok ouderdieren vleeskalkoenen tot 6 weken | 42 |
| | Opfok ouderdieren vleeskalkoenen van 6 tot 30 weken | 168 |
| H. Pelsdieren | Nertsen* | 122 |
| I. Konijnen | Vlees en opfokkonijnen tot dekleeftijd | 60 |
| L. Struisvogels | Opfokstruisvogels tot 4 maanden | 120 |
| | Vleesstruisvogels 4 tot 12 maanden | 240 |

* Het houden van nertsen is in Nederland en Vlaanderen niet langer toegestaan.

Dieren met een exponentieel toenemend emissiepatroon zijn:

| Hoofdcategorie | Diercategorie | Gemiddelde groeiperiode (dagen) |
|------------------|--------------------|---------------------------------|
| E. Kippen | Vleeskuikens | 32 tot 56 |
| F. Kalkoenen | Vleeskalkoenen | 115 tot 144 |
| G. Eenden | Vleeseenden | 42 |
| J. Parelhoenders | Vleesparelhoenders | 42 |

Diergroepen met een stabiel emissiepatroon:

Op elke locatie moeten minimaal zes metingen (van elk 24 uur of een veelvoud daarvan; voor geur twee uur tussen 09:00 en 13:00) in opeenvolgende tijdvakken van twee maanden worden uitgevoerd, waarbij binnen een tijdvak een meting op een steekproefsgewijs (at random) gekozen dag dient te worden uitgevoerd. Per meetlocatie dient de periode tussen twee opeenvolgende meetdagen minimaal 14 dagen te zijn.

Diergroepen met een rechtlijnig toenemend emissiepatroon:

Op elke locatie moeten minimaal zes metingen (van elk 24 uur of een veelvoud daarvan; voor geur twee uur tussen 09:00 en 13:00) in opeenvolgende tijdvakken van twee maanden worden uitgevoerd. Aanvullend geldt de voorwaarde dat binnen elke bedrijfslocatie de metingen zodanig verdeeld zijn dat de helft van de metingen in het eerste deel en de andere helft in het tweede deel van de productieperiode valt. De metingen in het tweede deel van de productieperiode dienen gelijkmatig over de jaarkwartalen te worden verdeeld. Per meetlocatie dient de periode tussen twee opeenvolgende meetdagen minimaal 14 dagen te zijn.

Diergroepen met een exponentieel toenemend emissiepatroon:

Op elke locatie moeten minimaal zes metingen (van elk 24 uur of een veelvoud daarvan; voor geur twee uur tussen 09:00 en 13:00) in opeenvolgende tijdvakken van twee maanden worden uitgevoerd. Aanvullend geldt de voorwaarde dat binnen elke bedrijfslocatie de metingen over de productieronde op de volgende wijze moet worden verdeeld: de productieronde wordt onderverdeeld in drie opeenvolgende gelijke tijdvakken, in het eerste tijdvak dient 1/6^e van de metingen plaats te vinden, in het tweede tijdvak 2/6^e van

de metingen, en in het derde tijdvak 3/6^e van de metingen. De metingen in het derde tijdvak van de productieperiode dienen gelijkmatig over de jaarkwartalen te worden verdeeld.

Voor alle diergroepen (ongeacht het emissiepatroon) geldt dat, wanneer er sprake is van repeterende managementactiviteiten die de emissie kunnen beïnvloeden (bijvoorbeeld mestverwijdering) de meetstrategie hier op zodanige wijze dient te worden afgestemd dat de gemiddelde emissie of emissiereductie uit de waarnemingen kan worden berekend.

5.4 Meetposities

De basis van het berekenen van de emissie is het product van ventilatiedebiet en het verschil in de concentratie van de emitterende stof tussen de uitgaande en de ingaande lucht (zie ook hoofdstuk A8). Daartoe moet de concentratie van de emitterende stof tenminste worden gemeten in de luchtstroom die het gebouw verlaat.

Wanneer er meerdere uitgaande luchtstromen (emissiepunten) zijn, moeten aantal en keuze van de meetposities zodanig worden gekozen dat er representatieve bemonstering/meting plaatsvindt. Dit moet beoordeeld worden per meetlocatie en is afhankelijk van de homogeniteit van de betreffende luchtverontreinigende stoffen en/of broeikasgassen in de stal.

Bij natuurlijk geventileerde stalgebouwen met een luchtuitlaat via een open nok wordt de lucht bemonsterd of bemeten op meetposities (midden in de breedte van de stal) op minimaal elke 10 meter lengte van het stalgebouw, beginnende en eindigende op 10 meter uit de kop- en eindgevel van het gebouw. Voorbeeld: een stal met een open nok over een lengte van 60 meter wordt uitgerust met minimaal de meetposities op 10, 20, 30, 40 en 50 meter (vijf stuks). Het gaat erom de variabiliteit die over de lengte van het stalgebouw kan voorkomen te includeren in de bemonstering/meting. Andere meetopzetten (zoals meerdere sensormeetposities en open pad-metingen) die hetzelfde bereiken zijn eveneens mogelijk maar een enkelvoudige meetposities voldoet hier niet. Om inmenging van eventuele door de nokopening binnentredende buitenlucht zo veel mogelijk te voorkomen, bevinden de meetposities zich op minimaal 2 meter onder de nokopening en op minimaal 3 meter hoogte (ten opzichte van de stalfloer).

Wanneer het ventilatiedebiet wordt bepaald met de tracergas ratiomethode met CO₂ als natuurlijk tracergas, moet de concentratie van CO₂ worden gemeten in zowel de uitgaande als de ingaande luchtstroom. Meting van de ingaande luchtstroom vindt plaats aan de loefzijde, omdat dit in overwegende mate de lucht zal zijn die de stal binnentreedt. Bij de continue meting dient in ieder geval aan beide zijden van de stal (buiten de stal) gemeten te worden, om rekening te houden met variatie in de windrichting binnen en tussen dagen. Voor discontinue metingen kan dit bij (verwachte) veranderlijke windrichting eveneens aan de orde zijn. Tevens kan het nodig zijn op meerdere punten te meten, afhankelijk van de aanwezigheid en locatie van mogelijke stoorbronnen. De keuze van meetposities wordt onderbouwd beschreven in het meetplan.

Beoordeeld moet worden of er nabije bronnen aanwezig zijn die van invloed kunnen zijn op de inlaatconcentratie van de te meten stal. Nabije bronnen zijn alle bronnen van emissie van CO₂ of de emitterende stof binnen 200 meter. De mate van invloed van een nabije bron moet beoordeeld worden op basis van het brontype, de bronsterkte, de afstand en de oriëntatie ten opzichte van het stalgebouw in relatie tot de overheersende windrichting. Als uit de beoordeling blijkt dat er relevante bronnen aanwezig zijn, wordt geadviseerd de ingaande concentratie te meten. Bedacht moet worden dat er vanuit nabije bronnen pluimen van CO₂ en de emitterende stof naar de te meten locatie kunnen waaien die een deel van de inlaatpunten kunnen belasten maar andere niet. Wanneer de meetpositie voor de ingaande lucht niet door de pluim aangestreeken wordt, kan de werkelijke inlaatconcentratie worden onderschat. Wanneer de meetpositie voor de ingaande lucht wel door de pluim aangestreeken wordt, kan de werkelijke inlaatconcentratie worden overschat. Overwogen kan worden de inlaatconcentratie op meerdere posities, bijvoorbeeld via een verzamel aanzuigleiding met kritieke capillairen, te meten.

Met het verminderen van de uitgaande concentratie met de ingaande concentratie van de emitterende stof (met uitzondering van geur) wordt de emissie gecorrigeerd voor de op het uitgaande meetpositie mee

gemeten bijdrage van de regionale achtergrond, eventuele recirculatie van stallucht, en een eventuele nabije lokale bron(nen). Het is toegestaan de ingaande concentratiemeting van de emitterende stof achterwege te laten, echter dan mag er niet gecorrigeerd worden (bijvoorbeeld aan de hand van data uit bronnen als het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit). Wanneer er geen correctie plaats vindt voor de ingaande concentratie levert dit een conservatieve (enigszins te hoog berekende) emissie op.

6 Meetmethoden ventilatiedebiet

6.1 Mechanisch versus natuurlijk geventileerde stallen

Mechanisch geventileerde stallen

Bij mechanisch geventileerde stallen (veelal voorkomend bij varkens, pluimvee en vleeskalveren) komt de lucht via goed gedefinieerde inlaatopeningen (bijvoorbeeld via het plafond of de vloer, via openingen bij de deur of aan de zijkant van de stal/afdeling) de stal binnen. Via ventilatoren in dak of plafond (nokventilatie) of in de eindgevel van de stal/afdeling (lengteventilatie) die onderdruk in de stal/afdeling creëren, verlaat de lucht vervolgens de stal. Voor het meten van het ventilatiedebiet bij mechanisch geventileerde stallen zijn de volgende methoden toegestaan:

1. Meetventilatoren (referentiemethode; aanbevolen)
2. Werkventilatoren met registratie
3. Tracergas ratiomethode (mits gevalideerd aan 1.)

Indien er geen geschikte meetventilatoren beschikbaar zijn omwille van de diameter van de koker van de werkventilator, en de natuurlijke tracergas ratiomethode niet bruikbaar is, kan er overgegaan worden tot een alternatieve methode die beschreven en onderbouwd dient te worden in het meetplan. Daarbij kan gedacht worden aan een kunstmatige tracer of de inzet van luchtsnelheidsmeters.

Natuurlijk geventileerde stallen

Natuurlijk geventileerde stallen (veelal voorkomend bij melkkoeien, vleesvee en melkgeiten) worden gekenmerkt door openingen die afhankelijk van de omstandigheden zowel als inlaat als uitlaat kunnen fungeren. Bij deze stallen is het niet mogelijk om meetventilatoren of werkventilatoren met registratie toe te passen. Hier is de tracergas ratiomethode de enige optie. De natuurlijke tracergas ratiomethode mag, indien niet gevalideerd, alleen toegepast worden:

- voor metingen gericht op een algemene erkenning (deel A);
- met het gebruik van accurate inputparameters verzameld op de betreffende locatie.

Bij sommige stalgebouwen met natuurlijke ventilatie is het toepassen van de natuurlijke tracergas ratiomethode en/of het meten van uitgaande concentraties niet goed mogelijk, bijvoorbeeld:

- bij beweiding zijn de dieren als CO₂-bron meerdere uren per dag niet aanwezig in de stal. Hierdoor is de natuurlijke tracergas ratiomethode niet meer toe te passen;
- bij het melken van dieren in een ander gebouw dan het stalgebouw geldt het voorgaande ook;
- bij sommige stalgebouwen met natuurlijke ventilatie is het niet goed mogelijk de uitgaande concentratie representatief te meten. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn bij zeer open stalgebouwen, stalgebouwen met dwarsventilatie en stalgebouwen met meerdere nokken.

6.2 Meetventilatoren op werkventilatoren zonder registratie

Meetventilatoren zijn groot-formaat anemometers die aangedreven worden door de luchtstroom in de ventilatiekoker waar ze worden geplaatst. Voor het gebruik van deze methode zijn de volgende voorwaarden van toepassing.

- De meetventilator dient vóór toepassing in een windtunnel gekalibreerd te worden. Bij de kalibratie wordt de relatie tussen het ventilatiedebiet en de frequentie van de meetventilator vastgesteld. Tijdens de meting wordt de frequentie van de meetventilator geregistreerd. Met de relatie uit de kalibratie wordt de frequentie omgerekend naar het ventilatiedebiet door de ventilatiekoker. Het kalibratieresultaat dient bij de rapportage te worden toegevoegd.

- De meetventilator moet stroomopwaarts (bij onderdrukventilatie onder de ventilator) worden gemonteerd, op voldoende afstand (bij voorkeur twee keer de diameter van de koker) van de ventilatiekoker. Daarnaast, en om wervelingen bij intrede te verminderen, dient een instroomrand onder aan de ventilatorkoker te worden geplaatst.
- De meetventilator en de ventilatiekoker moeten van gelijke diameter zijn.
- Meetventilatoren moeten op minimaal de helft van de (per ventilatiegroep) in gebruik zijnde ventilatiekokers worden geplaatst, op voorwaarde dat de werkventilatoren gelijk zijn qua merk/type, leeftijd en onderhoudsstatus, en op dezelfde manier aangestuurd worden (cascaderegeling).

6.3 Werkventilatoren met registratie

Steeds vaker zijn de werkventilatoren in stalgebouwen uitgerust met registratie van frequentie of direct de luchtverplaatsing. Voor gebruik bij het vaststellen van de emissie in het kader van een algemene erkenning kunnen deze onder voorwaarden gebruikt worden. De registratie van de werkventilatoren moet gekalibreerd worden aan de hand van meetventilatoren. De voorkeur gaat uit naar het kalibreren van minimaal de helft van de werkventilatoren (van eenzelfde merk/type, leeftijd en onderhoudsstatus), zowel voor als na de metingen, door een meetventilator te plaatsen en de werkventilator over de hele range van instellingen (10, 20, ..., 90%) te beproeven. Als alternatief kan de meetventilator blijvend op de veehouderij/onderzoekslocatie worden ingezet en gerouleerd tussen werkventilatoren volgens een onderbouwd gekozen roulatieschema. Op die manier wordt enerzijds geborgd dat de werkventilatoren over het operationele bereik en anderzijds verschillende exemplaren gecontroleerd worden. Indien dit op praktische bezwaren stuit, dient alsnog gebruik gemaakt te worden van een meetventilator of dient de tracergas ratiomethode toegepast te worden.

6.4 Tracergas ratiomethode

Bij deze methode, die gebaseerd is op de wet van behoud van massa, wordt het ventilatiedebiet (Q) afgeleid uit de productie (P_{tracer}) en de gemeten concentraties (stalluchtconcentratie ($C_{tracer}^{stallucht}$) verminderd met de binnentredende buitenluchtconcentratie ($C_{tracer}^{buitenlucht}$)) van de gebruikte tracer:

$$Q = \frac{P_{tracer}}{C_{tracer}^{stallucht} - C_{tracer}^{buitenlucht}} \quad (1)$$

Randvoorwaarden voor toepassing van de tracergas ratiomethode zijn:

- een homogene verdeling van de emissiebronnen door de stal van zowel de component waarvan de emissie moet worden bepaald als van het tracergas;
- het tracergas en de doelcomponent verspreiden zich op dezelfde manier door de stal;
- de concentraties van het tracergas en de doelcomponent worden op dezelfde punten (binnen en buiten de stal) en accuraat gemeten.

Door gebruik te maken van een natuurlijk in de stal (door dieren en mest) geproduceerd tracergas (zoals CO₂) wordt over het algemeen aan deze randvoorwaarden voldaan. De componenten waarvan de emissie moet worden bepaald aan de hand van de informatie in dit document, worden immers ook door de dieren en/of mest geproduceerd. Wanneer een kunstmatig tracergas wordt gebruikt, dient beargumenteerd te worden hoe aan de randvoorwaarden van toepassing van de tracergas ratiomethode kan worden voldaan. Dit wordt hieronder verder toegelicht.

6.4.1 Natuurlijk tracergas

Wanneer CO₂ als tracergas wordt gebruikt, dient voor de bepaling van de CO₂-productie (P_{CO_2}) met zowel de CO₂-productie uit de dieren ($P_{CO_2dieren}$) als de CO₂-productie uit de mest (P_{CO_2mest}) rekening te worden gehouden:

$$P_{CO_2} = P_{CO_2_{dieren}} + P_{CO_2_{mest}} \quad (2)$$

De CO₂-productie uit de dieren op stalniveau (voor een standaard staltemperatuur van 20 °C) is gebaseerd op de totale warmteproductie van de dieren en wordt bepaald met behulp van de CIGR rekenregels zoals beschreven in CIGR (2002) en Pedersen et al. (2008). Wanneer de staltemperatuur (*Tstal*) tijdens de metingen afwijkt van 20 °C, wordt een correctiefactor toegepast (CIGR, 2002):

$$P_{CO_2_{dieren(T=20^{\circ}C)}} = P_{CO_2_{dieren}} * (1000 + a * (20 - T_{stal}))/1000 \quad (3)$$

Voor stallen met drijfmest is de bijdrage uit de mest gering (10% volgens Pedersen et al., 2008). Bij potstallen (bijvoorbeeld geitenstallen) kan de mest/stro(oisel)laag (pot) een aanzienlijke en variabele bron van CO₂ zijn. In deze situaties zijn er aanvullende metingen nodig om de CO₂-productie uit de pot te bepalen. Dit kan worden gedaan door gebruik te maken van de statische fluxkamer methode. Bij deze methode wordt een deel van de pot met een gesloten box (Lindvalldoos) afgesloten, waardoor de CO₂-concentratie in de box zal toenemen. De toename in concentratie is een maat van de CO₂-productie uit dat deel van de pot. Om rekening te houden met de ruimtelijke variatie in CO₂-productie uit de pot wordt deze procedure op verschillende plekken (minimaal 12) verdeeld over de stal toegepast, waardoor een gemiddelde CO₂-productie uit de pot kan worden bepaald. Samengevat: bij potstallen moet voor het ventilatiedebiet gebruik gemaakt worden van meetventilatoren, een kunstmatig tracergas, of moet de potbijdrage aan de totale CO₂-productie voldoende kunnen worden gekwantificeerd.

Voorwaarde voor het gebruiken van de CO₂-productie van de dieren en hun mest voor de tracergas ratiomethode is dat de dieren tijdens de meetperiode continu in de stal aanwezig zijn. Dit betekent dat deze methode niet kan worden gebruikt in situaties met overdekte of vrije uitlopen, beweiding of het verplaatsen van dieren naar een ander gebouw voor het melken. Verder kan de natuurlijke tracergas ratiomethode niet gebruikt worden wanneer er aanvullende CO₂-bronnen in de stal aanwezig zijn die niet of onvoldoende accuraat kunnen worden gekwantificeerd, waaronder direct gestookte heaters. Ten slotte kan, bijvoorbeeld in het geval van mestadditieven, de interventie zelf ook verstoring werken. Beïnvloeding van de CO₂-productie door andere bronnen (denk aan het gebruik van tractoren/shovels) in en rond de stal dient zoveel mogelijk te worden geminimaliseerd.

6.4.2 Kunstmatig tracergas

Deze methode is gebaseerd op het continu injecteren van een constante hoeveelheid tracergas in de stal, met als doel het zorgen voor een meetbare (binnen het detectiebereik van de meetapparatuur) tracergasconcentratie in de uitgaande luchtstroom van de stal. Voor kunstmatige tracers gelden de volgende voorwaarden.

- Het tracergas moet chemisch inert en thermisch stabiel zijn en mag niet reageren met andere componenten in de stal. Voorkeur gaat uit naar een tracer die van nature niet in de (nabijheid van de) stal wordt geproduceerd.
- Plaatsing van voldoende injectiepunten (minimaal 1 injectiepunt per 10 m² emitterend oppervlak) in de stal, om een homogene verdeling van het tracergas in stal te krijgen en het emissieproces goed na te bootsen. De injectiepunten dienen te worden uitgerust met kritische capillairen om per injectiepunt dezelfde hoeveelheid tracergas te injecteren.
- Het tracergas en de emitterende stof verspreiden zich op dezelfde manier vanuit de bron door de stal naar de meetposities. Om menging van het tracergas te verbeteren dient het tracergas met behulp van mass flow controllers (MFC) met perslucht te worden gemengd voordat het door de injectiepunten de stal wordt ingeblazen.

Voorheen werd zwavelhexafluoride (SF₆) als kunstmatige tracer gebruikt. Omdat dit een broeikasgas met een hoog aardopwarmingsvermogen (Global Warming Potential; GWP van circa 24.000) is en een zeer lange verblijftijd in de atmosfeer heeft, is gebruik van SF₆ zeer ongewenst. Er wordt onderzoek gedaan naar alternatieven, maar de status in januari 2024 is dat er nog geen volledig gevalideerde vervangers zijn.

7 Meetmethoden luchtconcentraties

7.1 Ammoniak (NH₃)

Voor de continue doormeting van de stalemissies van NH₃ wordt er conform paragraaf A5.1 en A5.2 gebruik gemaakt van continue (sensor)meetsystemen welke voldoen aan de eisen uit deel D 'ontwikkeling en validatie van (sensor)meetsystemen voor continue meting van gasconcentraties'.

Naast de continue meting worden er per veehouderij/onderzoekslocatie minimaal zes discontinue metingen met de SRM uitgevoerd om een locatiespecifieke veldkalibratie te verkrijgen. Deze SRM-metingen worden verspreid over zes meetdagen over het volledige jaar en per meetdag worden ook steeds minimaal duplo metingen met de SRM uitgevoerd. Doel hiervan is om de volledige range van concentraties zoveel mogelijk af te dekken.

De standaard referentiemethode (SRM) ter bepaling van ammoniakconcentraties in een luchtmonster is de natchemische methode zoals beschreven in NEN-EN-ISO 21877:2019, NEN 2826:1999 of LUC methode LUC/III/003.

De natchemische meetmethode is een discontinue methode gebaseerd op absorptie van ammoniak uit de lucht door een zure oplossing. Hierbij wordt een luchtmonster aangezogen en geborreld door meerdere (minimaal twee) in serie geschakelde gaswasflessen gevuld met een zure oplossing (standaard is dit 0,1 M zwavelzuur) waarin ammoniak makkelijk absorbeert. Meerdere na elkaar geschakelde flessen met zure oplossing garanderen een maximale absorptie-efficiëntie. Alle aanwezige ammoniakgas in de lucht die door de gaswasflessen borrelt, accumuleert zo in de zure oplossing. Een gasteller/gasflowmeter houdt de hoeveelheid lucht bij die door de gaswasflessen stroomt. Op basis van deze hoeveelheid lucht en de ammoniumconcentratie in de oplossing, kan de ammoniakconcentratie in het luchtmonster bepaald worden. De inhoud van meerdere gaswasflessen kan worden samengevoegd voor de analyse, met uitzondering van de laatste welke als doorslag dient. De maximaal toegelaten doorslag (hoeveelheid ammonium in de laatste gaswasfles) is driemaal de detectielimiet, of 5% van het totaal gehalte aan ammoniak. Van deze twee wordt de laagste als criterium gehanteerd.

Voor het bepalen van de afgevangen hoeveelheid ammoniak in de zure oplossing zijn verschillende analyses mogelijk. Zo verwijst de norm NEN-EN-ISO 21877:2019 naar spectrofotometrie (NEN-ISO 7150-1:2002), doorstroomanalyse met spectrofotometrie (NEN-EN-ISO 11732:2005) en ionchromatografie (NEN-EN-ISO 14911:1999). Het Belgisch ministerieel besluit voor ammoniak rendementsbepaling van luchtwassers bij stalsystemen voegt hier ook een analyse aan toe met een discreet analysesysteem en spectrofotometrische detectie (ISO 15923-1:2013).

De natchemische methode is gevalideerd onder praktijkomstandigheden over een concentratierange van 8 mg/Nm³ tot 65 mg/Nm³ onder standaard condities (ISO, 2019). De natchemische methode kan echter ook toegepast worden voor de bepaling van lagere ammoniakconcentraties, afhankelijk van bijvoorbeeld de bemonsteringsduur en de detectielimiet en de LOQ (Limit of Quantification) van de gebruikte analytische methode. De bemonsteringsduur en volumedebiet dienen zodanig gekozen te worden dat de LOQ < 0,5 ppm.

Kwaliteitsvereisten SRM

- Minimaal eens per twee jaar wordt deelgenomen aan ringtesten om de juistheid van de meting aan te tonen. Deze ringtest dient te worden uitgevoerd met een operationele opstelling zoals gebruikt tijdens de emissiemetingen in stallen.
- Rotatie van personeel en apparatuur moet worden gegarandeerd, zowel tijdens de metingen als tijdens deelname aan de ringtesten.
- Metingen moeten in duplo worden uitgevoerd.
- Na de gaswasflessen en voor de gasteller/gasflowmeter moet een droger worden geplaatst.

- De temperatuur en de druk van het gas bij de gasteller/gasflowmeter moet worden gemeten.
- Het nemen van een veldblanco is verplicht (één per monsternamen-/staalnamedag).
- Voor aanvang van elke meting dient een lekttest te worden uitgevoerd op elke monsternamenmetrein.

7.2 Geur

Geur uit stallen bestaat in het algemeen uit een groot aantal verbindingen waarvan sommige al bij zeer geringe concentraties kunnen worden waargenomen. Vanaf de jaren tachtig van de vorige eeuw zijn sensorische methodieken ontwikkeld om geurconcentratie te kunnen kwantificeren. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in een bundeling van uitvoeringsmethodes in één gestandaardiseerde werkwijze die vastgelegd is in de Europese norm NEN-EN 13725:2003 en vervolgens NEN-EN 13725:2022. Deze sensorische meetmethode wordt internationaal gebruikt voor het vaststellen van geuremissie, waaronder die van stallen. In het kort kan deze methode als volgt worden beschreven: de geur uit stallen wordt in luchtzakken bemonsterd en in laboratoria wordt de geurconcentratie van deze luchtzakken met behulp van een zogenoemde olfactometer (verdunningsapparaat) door een geurpanel bestaande uit minimaal 4 panelleden vastgesteld. De geurconcentratie wordt hierbij uitgedrukt in een sensorische eenheid (OU_E) die gebaseerd is op een drempelwaarde: 1 OU_E staat voor de hoeveelheid geurstof in 1 m^3 lucht die door de helft van het geurpanel net onderscheiden kan worden van geurvrije lucht.

De referentiewaarde voor 1 OU_E (European Reference Odour Mass-EROM) is gedefinieerd als de panel-respons bij het aanbieden van lucht met 0,040 μmol n-butanol/ m^3 (40 ppb). De OU_E is gebaseerd op een waarnemingsrespons en geeft geen informatie over de chemische samenstelling van de gemeten geur. Het belangrijkste kwaliteitscriterium in de NEN-EN 13725 is dat uitsluitend panelleden met individuele drempelwaarden tussen 20 en 80 ppb n-butanol tot een meting worden toegelaten (NB: circa de helft van de populatie valt buiten deze bandbreedte). Door deze selectie wordt de variatie in respons tussen panelleden teruggedrongen waardoor de precisie van de meting wordt verbeterd. Daarnaast kan dit criterium opgevat worden als een kalibratie-instrument om systematische verschillen tussen geurlaboratoria tegen te gaan en daarmee metingen met praktijkgeuren op hetzelfde niveau te krijgen. Daarbij moet overigens opgemerkt worden dat de norm niet toelaat dat metingen met praktijkgeuren ook daadwerkelijk bijgesteld kunnen worden met een kalibratielijn gebaseerd op n-butanol.

In de praktijk blijkt de reproduceerbaarheid van de sensorische meetmethode beperkt te zijn en levert dit problemen op bij toepassing in onderzoek naar geuremissies in de veehouderij. Twee factoren spelen daarin een belangrijke rol: 1) de overdraagbaarheid van gevoeligheid voor n-butanol naar praktijkgeuren, en 2) tekortkomingen in toegepaste olfactometers, bemonstering en toegelaten opslagduur van geurmonsters.

Ad. 1. Het lage reproduceerbaarheidsniveau van de NEN-EN 13725 wordt deels veroorzaakt doordat de kwaliteitscriteria gebaseerd op n-butanol niet overdraagbaar blijken te zijn richting praktijkgeuren (Klarenbeek et al., 2014; Feilberg et al., 2018). Het gevolg is grote meetvariatie tussen verschillende geurpanels en geurlaboratoria. Klarenbeek et al. (2014) concludeerden op basis van een integrale analyse van meerdere ringtesten van Nederlandse labs dat de reproduceerbaarheid van praktijkgeuren aanzienlijk minder is dan die van n-butanol. Precisie verbeteren door selectie op n-butanol werkt dus niet in dezelfde mate door naar praktijkgeuren. De berekende reproduceerbaarheid van praktijkgeuren in genoemde analyse van meting aan hetzelfde geurmonster door twee laboratoria leverde als bovengrens (95%-betrouwbaarheidsinterval) een verschilfactor van 6 op. Dat wil zeggen dat 95% van gepaarde metingen aan een identiek geurmonster maximaal een factor 6 kunnen verschillen tussen laboratoria. In lijn hiermee concludeerden Feilberg et al. (2018) in een onderzoek naar de relatie tussen gevoeligheid van panelleden voor n-butanol en H_2S dat er tussen beide gassen geen sprake was van een significante correlatie in gevoeligheid van panelleden en dat daarmee ook geen sprake is van overdraagbaarheid van de gevoeligheid voor n-butanol naar H_2S .

Ad 2. Uit Deens onderzoek gebaseerd op chemisch-analytische methoden is gebleken dat de toegepaste olfactometers voor belangrijke geurcomponenten ongeschikt zijn als gevolg van adsorptie van stoffen aan het binnenoppervlak van het leidingstelsel in het apparaat. Omdat in de praktijk ontwerp en materiaalgebruik van olfactometers en de aanbiedingsprocedure verschillen leidt dit tot meetvariatie tussen laboratoria.

Tevens is met behulp van chemisch-analytische methodes aangetoond dat kwaliteit van monsterzakken en toegelaten opslagduur van monsters tot grote verschillen in gemeten geurconcentraties kunnen leiden (Hansen et al., 2011; Hansen et al., 2013; Kasper et al., 2017).

Dit alles leidt tot een forse meetonzekerheid van geuremissies. Een voorbeeld van de problemen die dit oplevert is gerapporteerd door Melse et al. (2018a). Deze rapportage gaat over een vergelijkend onderzoek met rendementmetingen aan dezelfde luchtwassers door een Nederlands en Duits laboratorium. De gemeten geurconcentraties door het Nederlandse laboratorium lagen gemiddeld een factor 4,5 hoger dan de waarden van het Duitse laboratorium. Gelijktijdige metingen van de labs waren zeer zwak met elkaar gecorreleerd ($r = 0,24$). In deze rapportage is ook als bijlage de notitie opgenomen opgesteld voor de VERA-expertgroep. De notitie beschrijft de resultaten van een prestatie-onderzoek uitgevoerd in 2012 door vijf geaccrediteerde geurlaboratoria. Doel was het geurrendement van een biologische wasser vast te stellen. De gemeten geurconcentraties van het lab met de hoogste geurconcentraties lagen hierin 13 tot 78 maal hoger dan het laboratorium met de laagste concentraties. Het gemiddelde gemeten geurverwijderingsrendement per laboratorium gebaseerd op drie bemonsteringsperiodes varieerde van 12 tot 76%. Conclusie hier was dat er nauwelijks sprake was van reproduceerbaarheid van geurverwijderingsrendement tussen laboratoria. Jonassen et al. (2012) concludeerden eveneens uit een vergelijkend Deens onderzoek met drie geurlaboratoria uitgevoerd op basis van triplo-monsters gedurende 16 meetdagen, dat de gemiddeld per lab gemeten geurrendementen, variërend van 16 tot 80% geurverwijdering, geen enkele samenhang vertoonden.

Hiervoor genoemde onderzoeksresultaten zijn meegenomen door de werkgroep die tussen 2012 en 2021 de eerste revisie van de NEN-EN 13725:2003 heeft uitgevoerd en die heeft geresulteerd in de NEN-EN 13725:2022. In deze revisie is onder meer de standaardisatie van de uitvoering van olfactometers aangescherpt om adsorptie te voorkomen. Tevens is het kwaliteitscriterium voor vereiste precisie binnen een laboratorium uitgebreid naar de vereiste precisie voor praktijkgeuren en is het mogelijk geworden het geurpaneel aanvullend naast n-butanol ook op andere stoffen te selecteren zodat beter kan worden aangesloten op de eigenschappen van praktijkgeuren. Vanaf 2023/2024 moeten geaccrediteerde geurlaboratoria in Europa aan deze nieuwe versie gaan voldoen. Eerste inzichten in het niveau van reproduceerbaarheid van de bijgestelde norm zijn op zijn vroegst vanaf eind 2024/begin 2025 te verwachten.

In Nederland heeft de problematiek rond meetonzekerheid en slecht functioneren van combi-wassers (Melse et al., 2018b) geleid tot een ontwikkelingstraject van een alternatieve chemisch-analytische geurmeetmethode voor stallen met de ambitie dat deze op termijn stapsgewijs de huidige sensorische methode kan vervangen. Startpunt van dit traject is de methode die door de universiteit van Aarhus is ontwikkeld en die in 2019 heeft geresulteerd in een Deens meetvoorschrift voor het evalueren van het geurverwijderingsrendement van luchtwassers, waarvan inmiddels een verbeterde versie beschikbaar is (Hansen en Feilberg, 2022). De eerste stap in het Nederlandse onderzoek is het niveau van reproduceerbaarheid van de chemisch-analytische aanpak tussen laboratoria in beeld te brengen. Hierover wordt in 2024 gerapporteerd. Vervolgstappen voor verdere ontwikkeling zijn in voorbereiding.

De keuze voor het ontwikkelen van de chemisch-analytische meetmethode is mede ingegeven door andere tekortkomingen van de sensorische meetaanpak. Zo kan geurbelasting buiten een stal niet met de bestaande geurpanelmethode worden gemeten. Het alternatief in de vorm van zogenoemde snuffelmetingen in het veld door waarnemers is eveneens omslachtig en resultaten zijn lastig te generaliseren door het momentane karakter. De ontwikkeling van geursensoren kan hier een alternatief bieden maar wordt sterk gehinderd door de slechte reproduceerbaarheid van de huidige sensorische referentiemethode. Hier kan de chemisch-analytische aanpak door betere reproduceerbaarheid een uitkomst bieden.

De sensorische methode is niet geschikt om een verbinding te leggen tussen waargenomen geurconcentraties en onderliggende chemische/biologische processen bij de geurbron. Dit belemmert in hoge mate het vermogen geurarme technieken vanuit kennis van onderliggende processen te ontwikkelen. Dit is een van de redenen dat de afgelopen jaren nauwelijks fundamentele kennisontwikkeling rond geur reducerende technieken heeft plaatsgevonden. Ook hier kan de chemisch-analytische aanpak een beter perspectief bieden.

De huidige stand van zaken is dat er nog geen uitontwikkelde geurmeetmethoden beschikbaar zijn als alternatief voor de sensorische norm NEN-EN 13725. In deze richtlijn wordt daarom vooralsnog uitgegaan van het gebruik van de gereviseerde norm NEN-EN 13725:2022. De kanttekening daarbij is dat de omvang van de meetfout helder in beeld moet worden gebracht waarvoor informatie uit vergelijkende laboratoriumonderzoeken en ringtesten nodig zijn. Op korte termijn is deze informatie voor de 2022-versie van de NEN-EN 13725 nog niet beschikbaar. Naar verwachting is dat vanaf 2025 het geval, dan is er tevens meer zicht op de ontwikkeling van de chemisch-analytische methodiek en kan een afweging gemaakt worden met welke methodes geurconcentraties en daarmee geuremissie het best gemeten kan worden. In deze versie van de richtlijnen voor geur meten in veehouderij wordt daarom vooralsnog uitgegaan van gebruik van de NEN-EN 13725:2022.

De standaard referentiemethode (SRM) voor het meten van geurconcentratie van bemonsterde stallucht is het uitvoeren van de NEN-EN 13725:2022 door een hiervoor geaccrediteerd laboratorium. In navolging van de recent herziene versie van de NTA 9065 voor geuronderzoek wordt als eis gesteld dat het laboratorium daarbij gebruik moet maken van de Forced Choice methode voor de aanbieding van geurverduunningen aan panelleden. Ten aanzien van de uitvoering van de bemonsteringsinstallatie in de stal en de uitvoering van de bemonstering moet het volgende in acht worden genomen:

- Op de veehouderij/onderzoekslocatie wordt beoordeeld of de ingaande lucht voldoende geurarm is en niet is verontreinigd door nabijgelegen geurbronnen. Risicovolle situaties kunnen optreden waar lucht uit nabij gelegen emissiepunten van stallen in bepaalde weerssituaties naar binnen wordt gezogen. Bij twijfel worden aanvullende metingen gedaan op bemonsterde inlaatlucht op minimaal twee verschillende dagen bij de meest risicovol geachte weerssituaties. Achtergrondconcentraties met meer dan 50 OUE/m³ dienen in de rapportage te worden vermeld.
- Het materiaal van de monsterleidingen moet voldoen aan de eisen gesteld in NEN-EN 13725:2022.
- Monsternameleidingen moeten verwarmd en geïsoleerd worden wanneer kans bestaat op condensvorming. Er mag geen condensvorming optreden in de monsternameleiding of de geurzak omdat hierin geurcomponenten kunnen oplossen. Condens kan met name optreden bij het plaatsen van monstervaten in onverwarmde ruimtes of in de buitenlucht. Ter verwarming wordt verwarmingslint langs de monsternameleiding meegevoerd en het geheel met buisisolatie geïsoleerd.
- Een meting heeft een totale bemonsteringsduur van twee uur en moet worden uitgevoerd in het tijdvak tussen 09:00 en 13:00 uur. Het is ook mogelijk tweemaal te bemonsteren gedurende één uur (bijvoorbeeld 10:00-11:00 en 11:00-12:00).
- Een meting wordt in duplo uitgevoerd.
- Als monsternamemethode dient de zogenaamde longmethode te worden toegepast tenzij de ventilatielucht vanwege het hoge vocht- en of geurgehalte verdund moet worden door een verdunningssonde. In de longmethode wordt door het creëren van onderdruk in de ruimte van het geurmonstervat om de geurzak heen de monsterlucht in de geurzak gezogen zonder tussenkomst van een pomp in de monsterleiding. Het monster dient met een constante stroomsnelheid te worden aangezogen. Gedurende de gehele procedure wordt verstoring van dieren in de stal zoveel mogelijk vermeden. Aan het eind van de monstername wordt het uiteinde van het aanzuigpunt luchtdicht afgesloten.
- Gedurende de gehele periode van monstername tot analyse dient de geurzak in het luchtdicht afgesloten monstervat te worden opgeslagen om effecten op de uiteindelijke analyse van diffusie van geurcomponenten door de wand van de geurzak, zo gering mogelijk te maken.
- Lekgeraakte geurzakken die nog ten dele zijn gevuld mogen niet geanalyseerd worden.

Kwaliteitsvereisten

De monstername en analyse voor het bepalen van de geuremissie dient plaats te vinden conform NEN-EN 13725:2022, maar is behept met een grote onzekerheid. Verbetering van de methodiek is daarom onderwerp van onderzoek zoals hierboven beschreven. Totdat er alternatieve meetmethodes voor geur beschikbaar zijn, gelden volgende kwaliteitsvereisten voor het bepalen van geurconcentraties door middel van olfactometrie:

- Monsterkamer en analyse dient conform NEN-EN 13725:2022 plaats te vinden. Hierbij is het gebruik van Forced Choice olfactometrie verplicht.

-
- Jaarlijks dient te worden deelgenomen aan een ringtest olfactometrie (n-butanol of praktijkmonsters). Rotatie van panelleden is verplicht.
 - De bemonsteringsduur is 120 of tweemaal 60 minuten.
 - Metingen moeten in duplo worden uitgevoerd.
 - Bij aanwezigheid van nabije bronnen moet de geurconcentratie van de ingaande lucht tevens bepaald worden. Geurconcentraties in de ingaande lucht van meer dan 50 OUE/m³ moeten in de rapportage vermeld worden.
 - Hieruit volgt dat de detectielimiet van de analyse minimaal 50 OUE/m³ moet bedragen.

7.3 Methaan (CH₄), lachgas (N₂O) en koolstofdioxide (CO₂)

De standaard referentiemethode (SRM) ter bepaling van concentraties van zowel methaan, lachgas als koolstofdioxide is gaschromatografie of laser spectrometrie. Hoewel natuurlijk geproduceerd CO₂ geen emissiecomponent is, is de luchtconcentratie van CO₂ nodig voor het bepalen van het ventilatiedebiet volgens de tracergas ratiomethode met CO₂ als natuurlijke tracer.

Naast de continue meting worden er per veehouderij/onderzoekslocatie minimaal zes discontinue metingen met de SRM uitgevoerd ter verificatie en/of om een locatiespecifieke veldkalibratie te verkrijgen. Daar voor het continu meten van N₂O relatief dure apparatuur benodigd is, mag bij deze component eventueel met discontinue metingen volstaan worden.

Een voorwaarde voor gaschromatografie is de toepassing van een goede separatiekolom (bijvoorbeeld Haysep Q) en detector (CH₄: flame ionisation detector (FID), N₂O: electron capture detector (ECD), CO₂: thermal conductivity detector (TCD)).

Voor wat betreft de optische meetsystemen zijn alleen instrumenten geschikt die één of enkele absorptielijnen gebruiken (CRD of TILDAS) om de te bemeten component te kwantificeren. Het instrument moet aantoonbaar geschikt zijn in het concentratiegebied dat in de stal wordt aangetroffen.

Het is toegestaan om een vangstelsysteem te gebruiken voor latere analyse (met gaschromatografie of laserspectrometer) in het lab. Een voorbeeld hiervan is het gebruik maken van de zogenaamde longmethode (zoals beschreven in paragraaf A7.2). In Mosquera et al. (2020) worden de prestatiekenmerken van deze methode (voor CO₂) en de procedure voor implementatie in de praktijk uitgebreid beschreven. Monsternamen via de longmethode moet 24 uren aaneengesloten zijn. Dat mag in één gaszak of in een serie achtereenvolgens bemonsterde gaszakken. Indien de gaszakmetingen dienen ter kalibratie van een in de stal continue metend systeem voor de betreffende component mogen ook drie of meer monsters van minimaal 30 minuten verzameld worden. Een potentieel voordeel daarvan is dat de continue meetset dan met meerdere concentratieniveaus kan worden vergeleken. De monsternamleiding die de stal- of buitenlucht van de meetpunten naar het vangstelsysteem of de meetapparatuur leidt dient van PTFE (Teflon) of PE (Polyethyleen) te worden gemaakt.

De SRM kan, met vangstelsysteem en latere analyse in het lab, toegepast worden in de praktijk. Daarnaast kunnen alternatieve methoden gebruikt worden. Alternatieve methoden moeten voldoen aan deel D van dit document: 'Ontwikkeling en validatie van (sensor)meetsystemen voor continue meting van gasconcentraties'.

Kwaliteitsvereisten

Het instrument dat voor de analyse van de monsters wordt gebruikt (gaschromatografie of laser spectrometrie) moet voor en na elke serie van analyses aan stalmonsters ook een werkstandaard meten in het relevante concentratie bereik (tussen 0,5 en 5 keer de te meten concentratie). De werkstandaard, een gasfles (die bijvoorbeeld commercieel aan te schaffen is) moet de gewenste concentratieniveaus hebben en deze moet minstens twee keer per jaar geijkt worden aan een gecertificeerde standaard, een (duurdere) van gecertificeerde concentratie voorziene gascilinder. Uiteraard mag het instrument ook direct aan deze gecertificeerde fles gekalibreerd worden (dus zonder werkstandaard). Resultaten van deze metingen en specificaties van instrument komen als appendix in de rapportage.

Bij een GC analyse moeten bij elke meetserie de resultaten van minstens drie injecties voor en na de monsteranalyse van de (werk) standaard gerapporteerd worden en op basis van de vorige kalibratiefactoren vergeleken worden met de waarden van de werkstandaard. Bij elke meetreeks wordt een plaatje van een chromatogram van een meting en een plaatje van een chromatogram bij analyse van de werkstandaard gerapporteerd.

Bij gebruik van een optisch instrument moet de tijdreeks van de metingen (in de regel één seconde data) van drie keer schakelen tussen "schone" buitenlucht en de standaard gerapporteerd worden waarbij in een grafiek duidelijk moet zijn dat het instrument een stabiel niveau aangeeft na omschakelen naar de werkstandaard. Naast deze informatie wordt van zowel de meting aan de standaard als van een van de metingen aan de gaszakken een plaatje van een spectrum gerapporteerd.

7.4 Fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5})

Concentraties van PM₁₀ en PM_{2,5} worden gemeten met een meetmethode waarvan gelijkwaardigheid is aangetoond aan de gravimetrische standaard referentiemethode beschreven in NEN-EN 12341:2023, al dan niet na het corrigeren van een systematische fout aan de hand van een empirisch bepaalde correctiefunctie, en/of door het corrigeren van een te hoge toevalsfout met behulp van meerdere meetapparaten (duplo, triplo, enzovoort, per bemonsteringspunt).

Bij meting van concentraties van fracties anders dan PM₁₀ en PM_{2,5} wordt de aard van de gemeten fractie zo nauwkeurig mogelijk gerapporteerd, bijvoorbeeld door te verwijzen naar een fractie die in een norm wordt beschreven, door de 50%-afsnijdiameter te vermelden of door de afsnijcurve te rapporteren. Zie voor meer informatie over verschillende termen, definities, fracties en normen: Tabel 1 op pagina 3 in Winkel et al. (2016).

Emissies en emissiereducties worden gebaseerd op massaconcentraties ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, mg/m^3); niet op deeltjesconcentraties (#/L).

Niet-isokinetische meetcondities dienen zo veel mogelijk worden voorkomen of geminimaliseerd door monsternamepunten zodanig ten opzichte van de ventilatoren te plaatsen dat de luchtsnelheid kleiner is dan 2 m/s en de luchtstroming zo veel mogelijk laminair is (in plaats van turbulent). In stallen met ventilatoren in de eindgevels (bijvoorbeeld pluimveestallen) dienen bemonsteringspunten, met gebruik van een luchtsnelheidsmeter, op voldoende verticale afstand van de ventilatoren te worden geplaatst. In stallen met ventilatie via plafondkokers wordt bemonstering in een horizontale luchtstroom beneden 2 m/s luchtsnelheid doorgaans bereikt door bemonsteringsapparatuur te plaatsen op 0,5 meter horizontale afstand van de instroomring en 0,1 meter verticale afstand onder de inlaathoogte van de instroomring.

Het bepalen van stofconcentraties in vochtige lucht (> 80% relatieve luchtvochtigheid) kan aan de orde zijn bij de uittredende lucht van luchtwassers, biofilters, warmtewisselaars en mestdroogtunnels, alsook bij gebruik van waterverneveling- of waterdruppelsystemen in stallen. Hierdoor kan zich een waterschilletje om stofdeeltjes heen vormen waardoor ze factoren groeien in aerodynamische diameter, tot boven de fractie waarin zij (na verlies van het waterschilletje) vallen en ten onrechte worden afgescheiden in PM₁₀- of PM_{2,5}-voorafscidders zoals impactoren of cyclonen. Ook kan het waterschilletje tot meetfouten leiden in het meetprincipe van de meetmethode, waaronder lichtverstrooiing. Alleen met laatstgenoemde methode zijn in theorie zinvolle metingen mogelijk, indien voorzien van een totaalstofkop en afdoende voorzieningen om het monster te drogen.

Het is niet toegestaan filters te conditioneren door oven-droging: dit kan leiden tot ongewenst verlies van semi-volatiele componenten.

Kwaliteitsvereisten

- Luchtsnelheid ter hoogte van de monsternamekop dient < 2 m/s te zijn.
- Metingen moeten in duplo worden uitgevoerd.

-
- Voor metingen van de uitgaande lucht moeten cycloonvoorafscheiders gebruikt worden in plaats van impactorkoppen om overbelading (en dus overschatting van de fractie) te voorkomen. Voor metingen de ingaande lucht mogen impactorkoppen gebruikt worden.
 - Wanneer meting van de uitgaande lucht om praktische redenen buiten het stalgebouw plaatsvindt, dient inmenging van buitenlucht voorkomen te worden.
 - Er dient gebruik te worden gemaakt van een monsternamepomp met constante flow. Deze pompen regelen het debiet automatisch op basis van gemeten temperatuur en drukval over het filter waardoor een constante luchtstroom wordt verkregen (maximale afwijking luchtstroom $\leq 2\%$).
 - Gebruikte filters (zowel in de meetsystemen als nadien) moeten ten alle tijden horizontaal gehouden worden (tijdens monstername, het uithalen van de filters uit de monsternamesystemen, transport van de filters naar het laboratorium, acclimatisatie en weging). Dit om verlies van stof te voorkomen.
 - Vereisten aan de weging:
 - er dient een precisiebalans gebruikt te worden met een resolutie van maximaal $10 \mu\text{g}$;
 - de gebruikte balans moet jaarlijks gekalibreerd worden onder NEN-EN-ISO/IEC 17025:2018;
 - voor elk gebruik dient de balans gecontroleerd te worden door gebruik te maken van een gecertificeerd ijkgewicht. Deze resultaten moeten worden geregistreerd;
 - filters dienen voor weging steeds minimaal 48uur geacclimatiseerd te worden bij $T = 20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ en $RV = 50 \pm 5\%$. De temperatuur en relatieve vochtigheid tijdens acclimatisatie moet worden gelogd;
 - filters moeten 4x evenredig verspreid over 2 opeenvolgende werkdagen gewogen te worden. Het gemiddelde van deze 4 wegingen is het gewicht van het filter. De standaarddeviatie tussen de 4 wegingen mag maximaal $0,0005 \text{ g}$ zijn;
 - filters dienen tussen de wegingen door steeds bewaard te worden bij bovenstaande T en RV;
 - gewogen blanco filters mogen voor gebruik maximaal 30 dagen bewaard worden;
 - bemonsterde filters worden zo spoedig mogelijk in behandeling genomen.

7.5 Bioaerosolen

Dit deel wordt opgesteld in een volgende versie.

8 Dataverwerking en -analyse

8.1 Controle op volledigheid, kwaliteit en consistentie

De verkregen data moet worden gecontroleerd op volledigheid, kwaliteit en consistentie. Voor data uit continue meetsystemen die verzonden worden naar een dataplatform van de meetinstantie kunnen bijvoorbeeld volgende afwijkingen voorkomen:

- het niet binnenkomen van meetdata van één, meerdere of alle meetsystemen;
- ontbrekende waarden (missing values);
- onmogelijke waarden (zoals extreem hoge of negatieve waarden);
- waarden die sterk afwijken van voorgaande waarden;
- waarden die sterk afwijken van een voor dat uur of die dag berekende verwachtingswaarde.

Verder kunnen afwijkingen worden opgespoord door waarnemingen te toetsen aan relaties tussen grootheden die een vooraf voorspelbare relatie moeten opleveren en waarin verdachte of evident onjuiste waarden buiten deze relatie opvallen. Voorbeelden hiervan zijn:

- de temperatuur gemeten buiten de stal tegen de temperatuur van het dichtstbijzijnde KNMI meetstation;
- de temperatuur gemeten in de stal tegen de temperatuur gemeten buiten de stal (met name bij natuurlijk geventileerde stallen);
- diergewicht tegen dag in ronde;
- ventilatiedebiet tegen buitentemperatuur;
- ventilatiedebiet tegen dag in ronde.

Tot slot kunnen verdachte waarden worden opgespoord met een uitbijtertoets. Een uitbijtertoets kan bijvoorbeeld bestaan uit de boxplot-methode met driemaal de IKA-waarde (interkwartiel-afstand) als maat voor uitbijters.

Voor alle verdachte waarnemingen geldt dat zij moeten worden onderworpen aan een controle op technische storingen of menselijke fouten in metingen en/of verdere processtappen. Bedacht moet echter worden dat verdachte waarnemingen, waaronder uitbijters, in werkelijkheid tot de normale variatie kunnen behoren omdat metingen doorgaans plaatsvinden onder (semi-)praktijkomstandigheden met alle invloeden en variaties van dien.

Verdachte waarnemingen worden uitsluitend geëxcludeerd voor verdere verwerking, analyse en rapportage wanneer deze aantoonbaar het gevolg zijn van technische storingen of menselijke fouten in de metingen en/of verdere processtappen. Deze waarden dienen in het meetrapport te worden opgenomen, en de reden voor exclusie beargumenteerd.

8.2 Data-inclusie, data-exclusie en data-aggregatie

Alle meetresultaten van de volledige meetreeks worden opgenomen in de berekening met uitzondering van:

- meetgegevens die door technische storingen of menselijke fouten in de metingen en/of verdere processtappen achteraf onbruikbaar zijn en niet meer tijdig opnieuw vastgesteld kunnen worden;
- meetgegevens waarbij niet voldaan wordt aan de landbouwkundige randvoorwaarden, waaronder het voldoen aan welzijnsnormen.

Meetgegevens van technisch geslaagde metingen tijdens een periode waarin een interventie (aantoonbaar) niet of minder goed werkte worden eveneens opgenomen in berekeningen en de rapportage waarbij de invloed van deze metingen op het eindresultaat gekwantificeerd wordt door het presenteren van

eindresultaten met en zonder deze perioden. Van dergelijke metingen wordt nauwkeurig aangegeven de tijdsperiode, aard, oorzaak en verwacht effect van het niet of minder goed werken van de interventie.

Bij continue metingen (NH₃, CH₄, CO₂, optioneel N₂O):

- worden emissiedata geaggregeerd tot gemiddelden op dagniveau waarbij tenminste van 19 van de 24 uren valide meetdata verkregen is;
- moeten metingen tenminste 80% van de effectieve onderzoeksperiode beslaan (exclusief leegstandperioden of downtime van de interventie);
- wordt in de rapportage het percentage van de onderzoeksperiode waarvoor data van technisch geslaagde metingen verkregen zijn vermeld, en de redenen voor het ontbreken van data in het resterende deel van de tijd.

Bij discontinue metingen (alle componenten):

- worden meetdata gemiddeld over het aantal herhalingen (doorgaans duplo's);
- moeten per veehouderij/onderzoekslocatie tenminste vijf van de zes metingen bruikbaar zijn;
- moet over alle veehouderijen/onderzoekslocaties 80% van de metingen bruikbaar zijn;
- wordt in de rapportage de redenen voor het ontbreken van bruikbare data bij minder dan zes bruikbare metingen voor een veehouderij/onderzoekslocatie vermeld.

Waar van toepassing wordt de met discontinue SRM metingen verkregen data gebruikt om een locatiespecifieke veldkalibratie voor de gebruikte sensoren af te leiden en/of te verifiëren dat de generieke veldkalibratiefunctie van toepassing is (zie verder deel D).

8.3 Berekening emissie bij proefdesigns 1a, 1b, 2 en 3

De emissie (E) van de case of control (i) op locatie (j) op moment (k) wordt berekend door het ventilatiedebiet (Q_{ijk} ; m³/uur/dier) te vermenigvuldigen met de uitgaande stalluchtconcentratie (C_{uitijk}) die (behalve bij geur) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie (C_{inijk}) zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} = Q_{ijk} * (C_{uitijk} - C_{inijk}) \quad (5)$$

Concentraties (C) worden gerapporteerd in:

- mg/m³ voor ammoniak, methaan en lachgas;
- OU_E/m³ voor geur;
- µg/m³ voor fijnstof.

Het moment k is de kleinste gemeenschappelijke tijdseenheid van de gemeten concentratie(s) en het ventilatiedebiet met als kleinste waarde een uur en als grootste waarde een dag.

Emissies (E) worden gerapporteerd in:

- kg/jaar/dier voor ammoniak;
- kg/jaar/dier voor methaan en lachgas;
- OU_E/s/dier voor geur.

De emissie uitgedrukt per dier betekent: de totale emissie uit case of control (i) locatie (j) op dag (k) gedeeld door het aantal aanwezige dieren die locatie en dag.

De overall gemiddelde emissiereductie (ER_{case} ; %) van de interventie/case wordt bepaald door eerst per locatie de gemiddelde emissies van case en control te berekenen. Per locatie wordt vervolgens een relatieve reductie ($ER_{case_locatie}$) berekend volgens:

$$ER_{case_locatie}; \% = \frac{\bar{E}_{control} - \bar{E}_{case}}{\bar{E}_{control}} * 100 \quad (6)$$

Hierna worden de relatieve reducties van de locaties gemiddeld tot een overall gemiddelde emissiereductie (ER_{case} ; %).

Voor zowel de emissies als relatieve emissiereducties geldt dat naast het gemiddelde als centrummaat ook spreidingsmaten (minimum, maximum en standaardafwijking per bedrijf; standaardafwijking tussen bedrijfsgemiddelden) worden bepaald en opgenomen in de rapportage.

Ten slotte wordt de absolute emissie van de case (E_{case}) bepaald door de gemiddelde emissiereductie (ER) in mindering te brengen op de emissiefactor van het systeem dat toegepast is in de controle. Als voorbeeld: wanneer in de controle-afdeling conventionele huisvesting voor vleesvarkens wordt toegepast (Rav D 3.100) met een emissiefactor van 3,0 kg/jaar per dierplaats, dan wordt de absolute emissie van de case (E_{case}) bepaald volgens:

$$E_{case} = \frac{ER}{100} * 3,0 \quad (7)$$

8.4 Berekening emissie bij proefdesign 4

De emissie (E) van de interventie (i) op locatie (j) op moment (k) wordt berekend door het ventilatiedebiet (Q_{ijk} ; m³/uur/dier) te vermenigvuldigen met de uitgaande stalluchtconcentratie ($C_{uit_{ijk}}$) die (behalve bij geur) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie ($C_{in_{ijk}}$) zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} = Q_{ijk} * (C_{uit_{ijk}} - C_{in_{ijk}}) \quad (8)$$

Concentraties (C) worden gerapporteerd in:

- mg/m³ voor ammoniak, methaan en lachgas;
- OU_E/m³ voor geur;
- µg/m³ voor fijnstof.

Emissies (E) worden gerapporteerd in:

- kg/jaar/dier voor ammoniak;
- g/jaar/dier voor methaan en lachgas;
- OU_E/s/dier voor geur.

Het moment k is de kleinste gemeenschappelijke tijdseenheid van de gemeten concentratie(s) en het ventilatiedebiet met als kleinste waarde een uur en als grootste waarde een dag.

De emissie uitgedrukt per dier betekent: de totale emissie uit case of control (i) locatie (j) op dag (k) gedeeld door het aantal aanwezige dieren die locatie en dag.

De overall gemiddelde emissie van ammoniak, methaan, lachgas en fijnstof (\bar{E}_i) van de interventie (i) wordt berekend door eerst per locatie (j) een gemiddelde emissie te berekenen (\bar{E}_{ij}) en vervolgens het gemiddelde te berekenen van de locatiegemiddelden (\bar{E}_{ij}).

De overall gemiddelde emissie van geur wordt berekend door eerst van alle waarnemingen (E_{ijk}) de logaritmische waarden te berekenen. De overall emissie wordt vervolgens bepaald door eerst het overall gemiddelde van (j) gemiddelde locatiewaarden te berekenen, allen op Ln-schaal, en daarna de inverse hiervan te bepalen voor de uitdrukking op originele schaal (bij berekening op basis van natuurlijke logaritmen wordt de inverse berekend via de exponentiele functie $f(x) = e^x$).

Naast het gemiddelde of mediaan als centrummaat worden ook spreidingsmaten (minimum, maximum en standaardafwijking per bedrijf; standaardafwijking tussen bedrijfsgemiddelden) bepaald en opgenomen in de rapportage.

8.5 Afwijkende berekening emissies bij dieren met exponentieel emissiepatroon en discontinue meting

In afwijking van voornoemde algemene emissieberekeningswijze wordt voor de diercategorieën met een exponentieel toenemend emissiepatroon en discontinue meting (fijnstof, geur) de emissie op de volgende wijze stapsgewijs berekend:

1. de productieronde bevat drie gelijke tijdvakken, zoals gedefinieerd in hoofdstuk A5. Voor elk tijdvak afzonderlijk wordt de gemiddelde emissie berekend op basis van de binnen dit tijdvak beschikbare meetresultaten;
2. de overall emissie wordt vervolgens berekend als het gemiddelde over de tijdvakgemiddeldes.

8.6 Standaardisatie van emissies bij melkvee

Ogink et al. (2014) rapporteren de resultaten van een analyse die uitgevoerd is om te bepalen of ammoniakemissies afhankelijk zijn van (omgevings)factoren die van bedrijf tot bedrijf en van jaar tot jaar kunnen verschillen. De analyse laat zien dat ammoniakemissies sterk beïnvloed worden door twee factoren: de buitentemperatuur (°C) en het melkureumgehalte (mg/100 ml).

De resultaten van deze analyse kunnen worden gebruikt om gemeten emissies te standaardiseren naar gemiddelde (representatieve) niveaus voor deze factoren. Ogink et al. (2014) stellen voor om voor buitentemperatuur het 10-jaarsgemiddelde te gebruiken (thans: 10,5 °C; gemiddelde buitentemperatuur gemeten op KNMI-station De Bilt in de periode 2011-2020). Voor het melkureumgehalte werd het landelijk gemiddelde in de periode 2009-2011 (23 mg/100 ml; laatst gerapporteerde data over melkureum door productschap Zuivel) voorgesteld. In Ogink et al. (2014) worden voor buitentemperatuur en melkureumgehalte de volgende effecten (op Ln-schaal) voorgesteld:

- buitentemperatuur: 1,5% emissietoename per graad Celsius temperatuurstijging;
- melkureumgehalte: 2,5% emissietoename per punt stijging van het melkureumgetal.

In Ogink et al. (2014) is geen (significante) relatie gevonden tussen de ammoniakemissie en het beloopbaar vloeroppervlak omdat het effect hiervan is verstrengeld met algemene bedrijfseffecten. Echter, Ogink et al. (2014) geven aan, op basis van berekeningen met het Ammoniakemissiemodel, een effect (op normaal-schaal) te verwachten van 10% emissietoename per eenheid mestbesmeurd oppervlak (m² per dier) voor conventionele huisvestingssystemen voor melkvee met roostervloer. Voor dichte vloeren (inclusief vloersystemen waar de kelder door middel van bijvoorbeeld flappen afgesloten is), is het verwachte effect op basis van berekeningen met het Ammoniakemissiemodel veel kleiner, namelijk 2,8% per eenheid mestbesmeurd oppervlak (m² per dier).

Samengevat, voor de standaardisatie van de emissies in de database (uit de verschillende meetrapporten) worden de volgende gemiddelde niveaus en effecten voor omgevingsfactoren toegepast:

| Factor | Gemiddelde niveau | Effect |
|---------------------------|--------------------------|---|
| Buientemperatuur | 10,5 °C | 1,5% emissietoename per graad Celsius temperatuurstijging |
| Melkureumgehalte | 23 mg/100 ml | 2,5% emissietoename per punt stijging melkureumgetal |
| Beloopbaar vloeroppervlak | 4,5 m ² /dier | 10% emissietoename per eenheid voor roostervloeren; 2,8% emissietoename per eenheid voor dichte vloeren (inclusief vloersystemen waar de kelder d.m.v. bijvoorbeeld flappen afgesloten is) |

De gestandaardiseerde emissie (E_{st}) wordt bepaald (op basis van de gemeten emissies E_g) door de volgende procedure toe te passen:

- eerst worden de gemeten emissies op Ln-schaal (LnE_g) berekend;

- vervolgens wordt de standaardisatie naar gemiddelde niveaus voor buitentemperatuur (T_{buiten}) en melkureumgehalte (MUG) uitgevoerd:

$$\text{LnEg} - \frac{1,5}{100} * (T_{buiten} - 10,5) - \frac{2,5}{100} * (MUG - 23) \quad (9)$$

- daarna worden de emissies op normaal-schaal teruggerekend:

$$e^{(\text{LnEg} - \frac{1,5}{100} * (T_{buiten} - 10,5) - \frac{2,5}{100} * (MUG - 23))} \quad (10)$$

- tenslotte wordt de standaardisatie naar een beloopbaar oppervlak ($OPPV$) van 4,5 m²/dier uitgevoerd:

$$E_{st} = \left[e^{(\text{LnEg} - \frac{1,5}{100} * (T_{buiten} - 10,5) - \frac{2,5}{100} * (MUG - 23))} \right] * \left[1 + \frac{2,8}{100} * (4,5 - OPPV) \right] \quad (11)$$

8.7 Statistische evaluatie emissie-effect interventie

Dit onderdeel wordt opgesteld in een volgende versie.

8.8 Bepaling meetonzekerheid (voorbeeld)

Meetinstanties bepalen de onzekerheid van elke toegepaste meetmethode. Deze gegevens worden opgenomen in de rapportage.

Hierna volgt een voorbeeld van hoe de uitgebreide meetonzekerheid kan worden bepaald voor de natchemische meting van ammoniak. Deze volgt de "Guide to the expression of uncertainty in measurement" (GUM; JCGM 100:2008).

De onzekerheid van de NH₃-concentratiemeting met behulp van deze methode wordt in dit voorbeeld geëvalueerd met behulp van de wet propagatie van onzekerheid. Dit vereist de identificatie en kwantificering van alle bronnen van onzekerheid in verband met NH₃-concentratiemetingen die uitgevoerd zijn met de natchemische methode. Deze bronnen kunnen in de volgende categorieën worden ingedeeld:

- a) Gasstroomsnelheid/debiet door de flessen (U_{gs})
- b) Herhaalbaarheid NH₃-concentratiemetingen (U_{dc})
- c) Bemonsteringstijd (U_t)
- d) Chemische analyses in het lab (reproduceerbaarheid labanalyses; U_{lab})
- e) Kalibraties (U_{kal})
- f) Interferenties (U_{interf})
- g) Adsorptie en desorptie in leidingen en monsternamesysteem (U_{ads})
- h) Flowmeter (U_{flow})
- i) Gasteller en onopgemerkt lekdebiet

Addendum a)

De gasstroomsnelheid door de flessen (F_g) wordt berekend als het gemiddelde van de gasstroomsnelheid gemeten aan het begin (F_g^{begin}) en aan het einde (F_g^{einde}) van de meetperiode:

$$F_g = \frac{F_g^{begin} + F_g^{einde}}{2} \quad (12)$$

In Mosquera et al. (2019) worden de resultaten weergegeven van een analyse die uitgevoerd was om de nauwkeurigheid (herhaalbaarheid) van gasstroomsnelheidsmetingen (vergelijkbaarheid van resultaten tussen duplo's) te bepalen. Kleine verschillen tussen gasstroomsnelheidsmetingen (voor en na de metingen) werden geconstateerd ($n = 1874$, gemiddeld verschil (relatief): 1,6%, mediaan: 1,2%, standaardafwijking: 1,5%, 95% -betrouwbaarheidsinterval: 3%). Aan deze bron (gasstroomsnelheid) wordt een standaard onzekerheid $U_{gs} = 2\%$ (normale verdeling; $k=1$) toegekend.

Addendum b)

Herhaalbaarheid van de metingen wordt gedefinieerd als het absolute verschil tussen de uitkomsten van een duplo-meting onder vergelijkbare omstandigheden. Op elk meetpunt worden de metingen in duplo uitgevoerd ($i = 1, 2$) en de concentratie op elk meetpunt berekend als het gemiddelde van de duplo-metingen:

$$C_{\text{NH}_3} = \frac{c_{\text{NH}_3}^1 + c_{\text{NH}_3}^2}{2} \quad (13)$$

In Mosquera et al. (2019) worden de resultaten weergegeven van een analyse die uitgevoerd was om de nauwkeurigheid (herhaalbaarheid) van NH_3 -concentratiemetingen met de natchemische methode (vergelijkbaarheid van resultaten tussen duplo's) te bepalen. Kleine verschillen tussen NH_3 -concentratiemetingen (duplo-metingen) werden geconstateerd voor zowel concentraties lager dan 1 ppm ($n = 298$; absoluut gemiddeld verschil: 0,01 ppm; mediaan: 0,00 ppm; standaardafwijking: 0,02 ppm; 95% - betrouwbaarheidsinterval: 5%), als voor concentraties tussen 1-10 ppm ($n = 231$; relatief gemiddeld verschil: 3%; mediaan: 2%; standaard afwijking: 3%; 95% -betrouwbaarheidsinterval: 6%) en voor concentraties boven 10 ppm ($n = 231$; relatief gemiddeld verschil: 1%; mediaan: 1%; standaarddeviatie: 1%; 95% - betrouwbaarheidsinterval: 2%). Aan deze bron (herhaalbaarheid NH_3 -concentratiemetingen) wordt een standaard onzekerheid $U_{dc} = 3\%$ (normale verdeling; $k=1$) toegekend.

Addendum c)

De tijd wordt zowel aan het begin als aan het einde van de metingen genoteerd. De verwachte onzekerheid in deze metingen is $U_t < 0,5\%$ (rechthoekige verdeling; een verschil van 5 minuten over een periode van 24 uur resulteert in een onzekerheid van 0,35%).

Addendum d)

De bepaling van het ammoniumgehalte in de absorptievloeistof wordt in het laboratorium van Wageningen Livestock Research bepaald volgens de procedure beschreven in de voormalige norm NEN 6472:1983 (ingetrokken; thans NEN-ISO 7150-1:2002). Om de reproduceerbaarheid van de labanalyses te bepalen werden zes monsters geanalyseerd op vier verschillende dagen met in totaal meer dan een maand verschil. De resultaten van deze analyse, die gerapporteerd zijn in Mosquera et al. (2019), laten zien dat de variatiecoëfficiënt tussen dagen voor alle verschillende monsters altijd kleiner was dan 2%, met een gemiddelde van 0,8%. Aan deze bron (herhaalbaarheid labanalyses) wordt een standaard onzekerheid $U_{lab} = 2\%$ (normale verdeling; $k=1$) toegekend.

In Mosquera et al. (2019) worden ook de resultaten weergegeven van een analyse die uitgevoerd was om de doorslag van uitgevoerde metingen te bepalen, en om te testen of het nodig is om drie absorptieflessen gevuld met absorptievloeistof te gebruiken, zoals voorgeschreven in NEN 2826:1999. Ze concluderen dat het effect van het verminderen van het aantal gevulde flessen van drie (zoals vermeld in NEN 2826:1999) tot twee of zelfs maar één fles vrij klein is ($< 1\%$). Gebruik van drie gevulde absorptieflessen is daardoor niet nodig. Het gebruik van ten minste twee flessen wordt in Mosquera et al. (2019) ten zeerste aanbevolen, als controle op doorbraak of verzadiging van de eerste fles tijdens de metingen.

Addendum e)

De natchemische methode werd in het laboratorium gekalibreerd tegen standaard kalibratiegassen (referentiemethode). De procedure en de resultaten van de kalibratie worden in Mosquera et al. (2019) gerapporteerd en worden in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 8.1. Lineaire regressie (kalibratie) van de natchemische methode ($\text{NH}_3_{\text{werkelijk}} = a * \text{NH}_3_{\text{natchemisch}} + b$).

| Meetbereik | a | b | R ² |
|------------|------|------|----------------|
| < 1 ppm | 1,00 | 0,03 | 1,00 |
| 1-10 ppm | 0,97 | 0,18 | 0,99 |
| > 10 ppm | 0,96 | 0,22 | 1,00 |

Wanneer de NH_3 -concentratiemetingen gecorrigeerd worden door de resultaten van een kalibratieprocedure, is de onzekerheid in de kalibratie gelijk aan de onzekerheid van de standaard kalibratiegassen die gebruikt

zijn voor de kalibratie. Aan deze bron (kalibratie natchemische methode) wordt een standaard onzekerheid $U_{kal}=3\%$ (normale verdeling; $k=2$) toegekend.

Addendum f)

Deze methode kan geen onderscheid maken tussen ammoniak, ammonium en andere N-bevattende vluchtige organische verbindingen. De concentratie van deze verbindingen zullen naar verwachting verwaarloosbaar zijn in vergelijking met ammoniak (Hutchinson et al, 1982; Schade & Crutzen, 1995). Aan deze bron wordt een standaard onzekerheid $U_{interf}=0\%$ toegekend.

Addendum g)

Adsorptie en desorptie van ammoniak in de leidingen kan in varkens- en pluimveestallen worden voorkomen door de leidingen te verzadigen voor aanvang van de metingen en te isoleren en te verwarmen. Bij melkveestallen zal dit naar verwachting (kleine temperatuursverschillen) niet voorkomen. Door een gemiddelde concentratie over de gehele 24-uurs meetperiode te gebruiken wordt dit nog verder verholpen. Aan deze bron wordt een standaard onzekerheid $U_{ads}=2\%$ (rechthoekige verdeling) toegekend.

Addendum h)

Het gebruikte instrument (DryCal® Defender 510) meet de gasstroom met een nauwkeurigheid van $\pm 1\%$ van de aflezing. Aan deze bron wordt een standaard onzekerheid $U_{flow}=1\%$ (normale verdeling; $k=1$) toegekend.

De gecombineerde meetonzekerheid (U_{gec}) wordt in dit voorbeeld bepaald als:

$$U_{gec} = \sqrt{(U_{gs}^2 + U_{dc}^2 + U_t^2 + U_{lab}^2 + U_{kal}^2 + U_{interf}^2 + U_{ads}^2 + U_{flow}^2)} = \sqrt{(2^2 + 3^2 + 0,5^2 + 2^2 + 3^2 + 0^2 + 2^2 + 1^2)} \quad (14)$$

De geëxpandeerde meetonzekerheid (U_{exp}) wordt dan bepaald volgens:

$$U_{exp} = k * U_{gec} \quad (15)$$

Voor een 95%-betrouwbaarheidsinterval wordt voor de dekkingsfactor (k) een waarde van $k=2$ toegekend. De geëxpandeerde meetonzekerheid met een 95%-betrouwbaarheidsinterval is voor het beschreven voorbeeld dan $U_{exp}=10\%$. Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit alleen de meting zelf betreft en de hieruit te berekenen emissie een grotere onzekerheid zal kennen (door bijvoorbeeld de onzekerheid in de vaststelling van het ventilatiedebiet).

9 Rapportage

Van een onderzoek zoals beschreven in dit deel wordt een rapportage opgesteld. De rapportage wordt opgesteld aan de hand van de volgende niet limitatieve richtlijnen.

Omslag/titelpagina/colofon

Deze onderdelen vermelden:

- titel;
- auteurs;
- maand en jaar van publicatie;
- de uitgever van de rapportage;
- eventueel: namen en handtekeningen van de eindverantwoordelijken voor het onderzoek.

Voorwoord

Een eventueel voorwoord gaat aan het rapport vooraf. Het is persoonlijk of contextueel, niet inhoudelijk. Het voorwoord bevat geen aspecten van probleembeschrijving, aanleiding, doelen, vragen, methoden, resultaten of conclusies.

Inhoudsopgave

Het rapport wordt gestructureerd in genummerde hoofdstukken, paragrafen en bijlagen waarvan het overzicht, met hun paginanummers, in de inhoudsopgave wordt weergegeven.

Inleiding

Hierin worden beschreven:

- context (relevante problematiek, voorgeschiedenis, aanleiding);
- opdrachtverlening;
- doelstelling (datgene dat wordt beoogd met het onderzoek; bijvoorbeeld het bepalen van de emissie van een interventie);

Materiaal en methoden

Hierin worden gedetailleerd beschreven:

- de interventie; conform de richtlijnen uit hoofdstuk A3.2.
- de veehouderijen/onderzoekslocaties; conform de richtlijnen uit hoofdstuk A3.1.
- het proefdesign, het aantal veehouderijen/onderzoekslocaties en de conformiteit aan de richtlijnen hieromtrent uit hoofdstuk A4;
- de meetstrategie, inclusief de meetposities in de veehouderijen/meetlocaties, een schema met data waarop de metingen hebben plaatsgevonden, en een bespreking van de conformiteit van de meetstrategie met de richtlijnen uit hoofdstuk A5;
- de methoden gebruikt ter bepaling van het ventilatiedebiet (zie hoofdstuk A6). Hierbij wordt tevens gerapporteerd de methoden en resultaten van kalibraties en de kwaliteitsbewaking tijdens de metingen;
- de meetonzekerheid van de gebruikte meetmethoden (zie paragraaf A8.8);
- de methoden gebruikt ter bepaling van luchtconcentraties (zie hoofdstuk A7). Hierbij wordt tevens gerapporteerd de methoden en resultaten van kalibraties en de kwaliteitsbewaking tijdens de metingen; de datacontrole, de inclusie en exclusie van data, de berekening van emissies, eventuele standaardisatie van emissies bij melkvee, de statistische evaluatie van het effect van de interventie, en een kwantificering van de totale meetonzekerheid van de emissiemeting (zie hoofdstuk A8);

Resultaten en discussie

Hierin worden beschreven:

- alle relevante zoötechnische parameters en omgevingsparameters tijdens de metingen, inclusief de wijze waarop tijdens de meetperiode voldaan wordt aan de welzijnsnormen en landbouwkundige randvoorwaarden voor de betreffende diercategorie;

-
- verslag van de gemeten klimaatcondities (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid), ventilatiedebieten, luchtconcentraties en emissies; in samenvattende tabel- en grafiekvorm; indien relevant per case en control en per veehouderij/onderzoekslocatie, inclusief de uitkomsten van de statistische evaluatie van het effect van de interventie;
 - de resultaten van gemeten grootheden worden uitgedrukt in centrummaten (gemiddelden; medianen voor geur) en spreidingsmaten (minimum, maximum en standaardafwijking binnen locaties). Van gemiddelde of mediane emissies wordt tevens de standaardafwijking tussen bedrijven vermeld als basis voor de precisie waarmee gemiddelde of mediaan is bepaald. Ruwe en bewerkte data kan als digitaal bestand worden meegeleverd;
 - bespreking van afwijkende omstandigheden die de meetresultaten kunnen hebben beïnvloed;
 - de resultaten worden besproken in relatie tot het werkingsprincipe van het emissiereducerend systeem en uit de literatuur bekende emissie- of effectniveaus van vergelijkbare interventies, al dan niet met ondersteunend beeldmateriaal;
 - met argumenten moet onderbouwd worden of de resultaten betrouwbaar en plausibel mogen worden verondersteld en representatief voor het onderzochte systeem;
 - toelichting op de bruikbaarheid van de meetresultaten voor een algemene erkenning;

Conclusies

Ter afsluiting dienen de hoofdelementen van de resultaten en de discussie in concluderende zin te worden samengevat. De focus ligt daarbij niet op het herhalen van de belangrijkste resultaten en discussiepunten maar met name op wat hieruit geconcludeerd kan worden in relatie tot de context en doelstelling uit de inleiding.

Bronnenlijst

De bronnenlijst bevat een overzicht van alle gebruikte en geciteerde bronnen. Het kan daarbij gaan om wetenschappelijke literatuur, maar ook om websites en mondelinge bronnen.

Bijlagen

Bijlagen zijn geschikt om achtergrondmateriaal op te nemen dat de hoofdtekst onnodig lang zou maken.

Bijlage A1: Landbouwkundige randvoorwaarden

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | |
|---------------------------------|--|--|---------------------------------|
| Code: A1 | Categorie: Melkveehouderij gangbaar | Subcategorie: Melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar | Datum: September 2013 |
| Huisvesting | <p>In de melkveestal waarin de metingen plaatsvinden kunnen naast de lacterende dieren tevens droogstaande melkkoeien en drachtig jongvee worden gehuisvest onder de hierna genoemde voorwaarden. Het aantal droogstaande dieren mag gedurende een meetdag niet meer dan 25% van het aantal melkkoeien (droogstaand plus melkgevend) bedragen. Drachtig jongvee dat groot genoeg is voor huisvesting in ligboxen voor volwassen dieren, mag eveneens in de melkveestal gehouden worden. Het aantal eenheden drachtig jongvee mag gedurende een meetdag niet meer dan maximaal 30% van het totale aantal melkkoeien (melkgevend en droogstaand) bedragen. Over alle meetdagen heen gemiddeld mag het aandeel jongvee niet meer dan 25% van het aantal melkkoeien bedragen. Op meetdagen mag het aantal in de stal aanwezige dieren (melkkoeien plus jongvee) niet meer dan 10% afwijken (zowel naar beneden als boven) van het aantal in de stal aanwezige ligboxen. Bij onderbezettingen met afwijkingen tussen de 10 en 20% van het aantal ligboxen, dient het teveel aan beloopbaar oppervlak en bijbehorende emitterend kelderoppervlak te worden afgesloten voor dieren en zo afgedekt te worden dat hieruit geen emissies kunnen optreden. Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen.</p> | | |
| Klimaat | De koeien worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de stal op dierniveau onder de 3.000 ppm blijft. | | |
| Voeding | Het rantsoen moet voor minimaal 50% uit ruwvoer bestaan en minimaal 160 g RE/kg drogestof (ds) bevatten of een melkureumgetal hebben van 15 of meer. | | |
| Productie | De gemiddelde melkgift dient minstens 25 kg meetmelk/koe/dag te zijn. | | |
| Gezondheid en hygiëne | De melkkoeien krijgen standaard veterinaire zorg. | | |
| Aantal dieren | Het aantal melkgevende en droogstaande koeien dient minimaal 30 zijn, of 15 melkgevende in geval van een vergelijkende onderzoeksopzet. | | |
| Registratie | <p><i>Gedurende een periode van minimaal 4 weken voorafgaand aan de meting:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - totaal aantal kg verstrekt krachtvoer in de stal - totaal aantal kg verstrekt ruwvoer in de stal - ureumgetal van de melk (tankureumgetal) - aanwezige + ingaande en uitgaande melkkoeien, droogstaande koeien en jongvee (ook tijdens meting) <p><i>Tijdens de meting:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de mestput - CO₂-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | |

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | |
|--|--|----------------------|---------------|
| <i>Code:</i> | <i>Categorie:</i> | <i>Subcategorie:</i> | <i>Datum:</i> |
| | Melkveehouderij biologisch | Melk- en kalfkoeien | December 2010 |
| Huisvesting | <p>Volgens de SKAL-regels moet elke koe minimaal 6 m² staloppervlak hebben waarvan 50% dichte vloer. Tijdens de meting dient voor iedere koe een ligplaats aanwezig te zijn.</p> <p>In de melkveestal waarin de metingen plaatsvinden kunnen naast de lacterende dieren tevens droogstaande melkkoeien en drachtig jongvee worden gehuisvest onder de hierna genoemde voorwaarden. Het aantal droogstaande dieren mag gedurende een meetdag niet meer dan 25% van het aantal melkkoeien (droogstaand plus melkgevend) bedragen. Drachtig jongvee dat groot genoeg is voor huisvesting in ligboxen voor volwassen dieren, mag eveneens in de melkveestal gehouden worden. Het aantal eenheden drachtig jongvee mag gedurende een meetdag niet meer dan maximaal 30% van het totale aantal melkkoeien (melkgevend en droogstaand) bedragen. Over alle meetdagen heen gemiddeld mag het aandeel jongvee niet meer dan 25% van het aantal melkkoeien bedragen. Op meetdagen mag het aantal in de stal aanwezige dieren (melkkoeien plus jongvee) niet meer dan 10% afwijken (zowel naar beneden als boven) van het aantal in de stal aanwezige ligboxen. Bij onderbezettingen met afwijkingen tussen de 10 en 20% van het aantal ligboxen, dient het teveel aan beloopbaar oppervlak en bijbehorende emitterend kelderoppervlak te worden afgesloten voor dieren en zo afgedekt te worden dat hieruit geen emissies kunnen optreden. Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen.</p> | | |
| Klimaat | De koeien worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de stal onder de 3.000 ppm blijft. | | |
| Voeding | Het voer moet voor minstens 50% uit ruwvoer bestaan en minimaal 160 g RE/kg ds bevatten of een ureumgetal hebben van 15 of meer. | | |
| Productie | De gemiddelde melkgift dient minstens 18 kg meetmelk/koe/dag te zijn. | | |
| Gezondheid en hygiëne | Bij de veterinaire zorg wordt het gebruik van gangbare geneesmiddelen beperkt en zo mogelijk gebruik gemaakt van alternatieve behandelmethoden. | | |
| Aantal dieren | Het aantal melkgevende en droogstaande koeien moet minimaal 30 zijn, of 15 melkgevende in geval van een vergelijkende onderzoeksofzet. | | |
| Registratie | <p><i>Gedurende een periode van minimaal 4 weken voorafgaand aan de meting:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - totaal aantal kg verstrekt krachtvoer in de stal - totaal aantal kg verstrekt ruwvoer in de stal - ureumgetal van de melk (tankureumgetal) - aanwezige + ingaande en uitgaande melkkoeien, droogstaande koeien en jongvee <p><i>Tijdens de meting:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de mestput - CO₂-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | |

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | |
|--|---|---|---------------------------------|
| <i>Code:</i> A4 | <i>Categorie:</i> Vleeskalveren tot 8 maanden | <i>Subcategorieën:</i> Blankvlees- en rosévleesproductie | <i>Datum:</i> September 2013 |
| Huisvesting | <p>Zie eisen Kalverbesluit. Ten behoeve van de emissiemetingen moeten de kalveren gedurende de gehele mestronda tenminste over 1,8 m² leefoppervlak per dier beschikken.</p> <p>Op de meetlocatie dient huisvesting volgens het 'all in all out' systeem plaats te vinden.</p> | | |
| Klimaat | <p>De vleeskalveren worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO₂-concentratie in de lucht van de stal op dierniveau onder de 3.000 ppm blijft.</p> <p>Bij mechanisch geventileerde afdelingen dient tenminste een ventilatiecapaciteit per dierplaats geïnstalleerd te zijn van 150 m³/uur voor blankvlees- en 200 m³/uur voor rosékalveren.</p> | | |
| Voeding | <p>Het rantsoen dient te voldoen aan de eisen die gesteld zijn in het Kalverbesluit voor blankvlees- en rosévleesproductie.</p> | | |
| Productie | <p>Blankvleesproductie: groeitraject 45 – circa 225 kg, groeiperiode circa 180 dagen (KWIN 2013). Rosévleesproductie: groeitraject 100 – circa 300 kg, groeiperiode circa 145 dagen tot een maximum leeftijd van 8 maanden (KWIN, 2013).</p> <p>De uitval gedurende een mestronda bedraagt niet meer dan 5 (blankvlees) of 3 (rosé) %.</p> | | |
| Gezondheid en hygiëne | <p>De vleeskalveren krijgen standaard veterinaire zorg. Gegevens van behandelde dieren dienen volgens het geldende protocol in de sector te worden vastgelegd.</p> | | |
| Aantal dieren | <p>Het aantal vleeskalverplaatsen in de afdeling waarin wordt gemeten dient minimaal 40 te zijn.</p> <p>Maximaal 5 % onderbezetting bij een meting is toegestaan.</p> | | |
| Registratie | <p><i>Tijdens de meting:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - aantal op dat moment aanwezige dieren in de afdeling - CO₂-concentratie <p><i>Gedurende de meetperiode:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de mestput - Technische resultaten van de kalveren op afdelingsniveau; start- en eindgewichten, groei en uitval - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | |

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | |
|--|--|---|---------------------------------|
| <i>Code:</i> B1 | <i>Categorie:</i> Varkenshouderij gangbaar | <i>Subcategorie:</i> Guste en drachtige zeugen | <i>Datum:</i> September 2013 |
| Huisvesting | Zeugen en gelten moeten in groepen gehouden worden vanaf vier dagen voor inseminatie tot verplaatsing naar de kraamstal. Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen. | | |
| Klimaat | De zeugen worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft. | | |
| Voeding | Het voerschema is gemiddeld minimaal 2,5 Energiewaarde (EW) per dag en bevat minimaal 125 g ruw eiwit (RE)/EW. Waterverstrekking gebeurt onbeperkt. Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen of andere voeraanpassingen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. | | |
| Productie | Onder de genoemde klimaat- en voedingsvoorwaarden moet het gemiddelde aantal grootgebrachte biggen minimaal 26 per zeug per jaar zijn (op bedrijfsniveau). | | |
| Gezondheid en hygiëne | De zeugen krijgen standaard veterinaire zorg. Het percentage uitval (sterfte) mag niet hoger zijn dan 5% per jaar. | | |
| Aantal dieren | De meting dient uitgevoerd te worden in een afdeling met minimaal 20 dieren. Minimum hokbezetting 90%. | | |
| Registratie | <p><i>Gedurende een periode van minimaal 4 weken voorafgaand aan de meting:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling - totaal aantal kg verstrekt ruwvoer in de afdeling - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling - aanwezige + ingaande en uitgaande zeugen (ook tijdens meting) <p><i>Tijdens de meting:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - schatting van de hoeveelheid verbruikt water inclusief het restant in de mestput - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de mestput - registratie van voersamenstelling en (ruw)voerverbruik - CO₂-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | |

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | |
|--|---|---|---------------------------------|
| <i>Code:</i> B2 | <i>Categorie:</i> Varkenshouderij gangbaar | <i>Subcategorie:</i> Kraamzeugen (incl. biggen tot spenen) | <i>Datum:</i> September 2013 |
| Huisvesting | Hoogdrachtige en lacterende zeugen worden in de kraamstal gehouden van circa één week voor het werpen tot het spenen op gemiddeld 4 weken na het werpen (25-31 d). Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen. | | |
| Klimaat | De zeugen met biggen worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft. | | |
| Voeding | Voeding gebeurt volgens gangbare (CVB) normen. Minimaal 140 g RE/EW. Registratie van voersamenstelling en -hoeveelheid is noodzakelijk. Waterverstrekking gebeurt onbeperkt. Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. | | |
| Productie | Minimaal 10 gespeende biggen per worp tijdens de meetdagen, omdat de voeropname afhankelijk is van het aantal zuigende biggen. | | |
| Gezondheid en hygiëne | De zeugen krijgen standaard veterinaire zorg. Het percentage uitval (sterfte) mag niet hoger zijn dan 5% per jaar. | | |
| Aantal dieren | Minimaal 6 zeugen met biggen per afdeling/groep. | | |
| Registratie | <i>Per kraamperiode van circa 5 weken:</i> <ul style="list-style-type: none"> - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling - aanwezige + ingaande en uitgaande dieren - schatting van de hoeveelheid verbruikt schoonmaakwater inclusief het restant in de mestput - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de mestput - CO₂-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | |

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | |
|--|--|--|---------------------------------|
| <i>Code:</i> B3 | <i>Categorie:</i> Varkenshouderij gangbaar | <i>Subcategorie:</i> Biggenopfok (gespeende biggen) | <i>Datum:</i> September 2013 |
| Huisvesting | Biggen van circa 4 weken leeftijd (8 kg) tot circa 25 kg worden in biggenopfokhokken gehouden. Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen. | | |
| Klimaat | De biggen worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft. | | |
| Voeding | Voeding gebeurt volgens gangbare (CVB) normen. Minimaal 165 g RE/EW. Registratie van voersamenstelling en -hoeveelheid is noodzakelijk. Watervorstrekking gebeurt onbeperkt. Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. | | |
| Productie | De groei van de biggen tot 25 kg bedraagt minstens 310 g/dag. | | |
| Gezondheid en hygiëne | De biggen krijgen standaard veterinaire zorg. Het percentage uitval mag niet hoger zijn dan 5% per ronde op afdelingsniveau. Registratie van reinigingstijdstippen en middelen is vereist evenals een schatting van de hoeveelheid verbruikt water inclusief het restant in de mestput. Ook registratie van het verwijderen van (drijf)mest uit de mestput is voorwaarde. | | |
| Aantal dieren | Het minimum aantal dieren in de te meten afdeling is 40. De bezetting moet tijdens ieder moment van de meting minstens 90% zijn. | | |
| Registratie | <i>Per opfokperiode:</i> <ul style="list-style-type: none"> - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling - aanwezige + ingaande en uitgaande dieren - schatting van de hoeveelheid verbruikt schoonmaakwater inclusief het restant in de mestput - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de mestput - veterinaire behandelingen op koppelniveau - CO₂-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | |

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | |
|--|--|--|---------------------------------|
| <i>Code:</i> B4 | <i>Categorie:</i> Varkenshouderij gangbaar | <i>Subcategorie:</i> - Vleesvarkens - Opfokberen van ca. 25 kg tot 7 maanden - Opfokzeugen van ca. 25 kg tot eerste dekking | <i>Datum:</i> September 2013 |
| Huisvesting | Varkens van circa 25 tot 120 kg worden in afdelingen gehouden waarvan de hokken 10 tot 40 varkens mogen bevatten. Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen. | | |
| Klimaat | De vleesvarkens worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft. | | |
| Voeding | Voeding gebeurt volgens gangbare (CVB) normen. Minimaal 160 g RE/EW voor startvoer (eerste maand) en 145 g RE/EW voor afmestvoer. Registratie van voersamenstelling en -hoeveelheid is noodzakelijk. Waterverstrekking gebeurt onbeperkt. Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. | | |
| Productie | De groei van de vleesvarkens is in het traject 25 - 120 kg minstens 770 g/dag (Agrovision/KWIN - 20 g/dag). | | |
| Gezondheid en hygiëne | De varkens krijgen standaard veterinaire zorg. Het percentage uitval mag niet hoger zijn dan 5% per ronde. Registratie van reinigingstijdstippen en middelen is vereist evenals een schatting van de hoeveelheid verbruikt water inclusief het restant in de mestput. Ook registratie van het verwijderen van (drijf)mest uit de mestput is voorwaarde. | | |
| Aantal dieren | Het aantal dieren in de te meten afdeling bedraagt minimaal 50. | | |
| Registratie | <i>Per vleesvarkensronde van circa 16 weken:</i> <ul style="list-style-type: none"> - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling - aanwezige + ingaande en uitgaande dieren - schatting van de hoeveelheid verbruikt schoonmaakwater inclusief het restant in de mestput - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de mestput - veterinaire behandelingen op koppelniveau - CO₂-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | |

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | |
|--|---|--------------------------|---------------|
| <i>Code:</i> | <i>Categorie:</i> | <i>Subcategorie:</i> | <i>Datum:</i> |
| | Varkenshouderij biologisch | Guste en dragende zeugen | December 2010 |
| Huisvesting | Zeugen en gelten moeten altijd in groepen gehouden worden. Het hokoppervlak bedraagt minimaal 2,5 m ² waarvan minimaal 50% ingestrooide dichte vloer. De buitenuitloop is minimaal 1,9 m ² per zeug waarvan maximaal 75% overkapt is. 's Zomers is weidegang verplicht. De spleetbreedte van betonroosters bedraagt maximaal 20 mm en de balkbreedte minimaal 80 mm. De zeugen worden altijd gehouden volgens de meest recente SKAL-normen. Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen. | | |
| Klimaat | De zeugen worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft. | | |
| Voeding | Voerschema is gemiddeld minimaal 2,5 EW per dag en onbeperkte waterversprekking. Minimaal 130 g RE/EW in het voer. Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. | | |
| Productie | Onder de genoemde klimaat- en voedingsvoorwaarden moet het gemiddelde aantal grootgebrachte biggen minimaal 19 per zeug per jaar zijn (op bedrijfsniveau). | | |
| Gezondheid en hygiëne | Bij de veterinaire zorg wordt het gebruik van gangbare geneesmiddelen beperkt en zo mogelijk gebruik gemaakt van alternatieve behandelmethoden. Het percentage uitval mag niet hoger zijn dan 5% per ronde. | | |
| Aantal dieren | De meting dient uitgevoerd te worden met een groepsgrootte van minimaal 20 dieren. Minimum hokbezetting 90%. | | |
| Registratie | <p><i>Gedurende een periode van minimaal 4 weken voorafgaand aan de meting:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling - totaal aantal kg verstrekt ruwvoer in de afdeling of schatting van kg ds gras uit weide - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling - aanwezige + ingaande en uitgaande zeugen (ook tijdens de meting) <p><i>Tijdens de meting:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - schatting van de hoeveelheid verbruikt water inclusief het restant in de mestput - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de mestput - registratie van voersamenstelling en (ruw)voerverbruik - CO₂-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | |

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | |
|--|--|---------------------------------------|---------------|
| <i>Code:</i> | <i>Categorie:</i> | <i>Subcategorie:</i> | <i>Datum:</i> |
| | Varkenshouderij biologisch | Kraamzeugen (incl. biggen tot spenen) | December 2010 |
| Huisvesting | Hoogdrachtige en lacterende zeugen worden in de kraamstal gehouden van op z'n vroegst één week voor het werpen tot het spenen op gemiddeld 6 weken na het werpen (40-44 d). Hokken moeten minstens 7,5 m ² binnenruimte en 2,5 m ² buitenruimte hebben. Minstens 50% van de vloer moet dicht zijn en ingestrooid. Metalen driekantroosters mogen een maximum spleetbreedte van 10 mm hebben, kunststof roosters 12 mm. Tijdens de meetperiode moet voldaan worden aan de geldende dierwelzijnsnormen. | | |
| Klimaat | De zeugen met biggen worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft. | | |
| Voeding | Het dagelijkse rantsoen is gebaseerd op CVB-normen of meer. Minimaal 150 g RE/EW in het voer. Registratie van voersamenstelling en -hoeveelheid is noodzakelijk. Watervorstrekking gebeurt onbeperkt. Volgens de SKAL-normen moet minstens 80% van het voer van biologische oorsprong zijn. Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. | | |
| Productie | Gemiddeld minimaal 9 gespeende biggen per worp, omdat de voeropname afhankelijk is van het aantal zuigende biggen. | | |
| Gezondheid en hygiëne | Bij de veterinaire zorg wordt het gebruik van gangbare geneesmiddelen beperkt en zo mogelijk gebruik gemaakt van alternatieve behandelmethoden. | | |
| Aantal dieren | Minimaal 6 zeugen met biggen per afdeling/groep. De hokbezetting moet gemiddeld over de gehele kraamfase minstens 90% zijn. | | |
| Registratie | <p><i>Gedurende de gehele ronde in de kraamstal:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - totaal aantal kg verstrekt voer (zeug en biggen) in de afdeling - totaal aantal kg verstrekt ruwvoer in de afdeling - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling inclusief restant in de mestput - aanwezige + ingaande en uitgaande zeugen - aantal gespeende biggen - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de mestput - registratie van voersamenstelling en (ruw)voerverbruik - CO₂-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | |

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | |
|--|--|--|--------------------------------|
| <i>Code:</i> | <i>Categorie:</i> Varkenshouderij biologisch | <i>Subcategorie:</i> Biggenopfok (gespeende biggen) | <i>Datum:</i> December 2010 |
| Huisvesting | Gespeende biggen moeten een binnenruimte van minstens 0,6 m ² en een buitenruimte van minstens 0,4 m ² hebben. Minstens 50% van de vloer moet dicht zijn en ingestrooid. Metalen driekantroosters mogen een maximum spleetbreedte van 10 mm hebben, kunststof roosters 12 mm. Tijdens de meetperiode moet voldaan worden aan de geldende dierwelzijnsnormen. | | |
| Klimaat | De biggen worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft. | | |
| Voeding | Het dagelijkse rantsoen is gebaseerd op CVB-normen of meer. Minimaal 165 g RE/EW in het voer. Registratie van voersamenstelling en -hoeveelheid is noodzakelijk. Waterverstrekking gebeurt onbeperkt. Volgens de SKAL-normen moet minstens 80% van het voer van biologische oorsprong zijn. Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. | | |
| Productie | Gemiddeld begingewicht van de 6 weken oude biggen ligt tussen 10 en 14 kg en het eindgewicht ligt tussen 23 en 27 kg. De groei in dit traject bedraagt minimaal 300 g/d. De verblijfsduur in deze afdeling ligt tussen de 4 en 6 weken. | | |
| Gezondheid en hygiëne | Bij de veterinaire zorg wordt het gebruik van gangbare geneesmiddelen beperkt en zo mogelijk gebruik gemaakt van alternatieve behandelmethoden. | | |
| Aantal dieren | Minimaal 40 biggen per afdeling en 10 tot 40 biggen per hok. De hokbezetting is minimaal 90%. | | |
| Registratie | <i>Gedurende de gehele ronde in de biggenopfok:</i> <ul style="list-style-type: none"> - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling - totaal aantal kg verstrekt ruwvoer in de afdeling - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling inclusief het restant in de mestput - aanwezige + ingaande en uitgaande dieren - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de mestput - registratie van voersamenstelling en (ruw)voerconsumptie - veterinaire behandelingen op koppelniveau - CO₂-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | |

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | |
|--|--|--|--------------------------------|
| <i>Code:</i> | <i>Categorie:</i> Varkenshouderij biologisch | <i>Subcategorie:</i> - Vleesvarkens - Opfokberen van ca. 25 kg tot 7 maanden - Opfokzeugen van ca. 25 kg tot eerste dekking | <i>Datum:</i> December 2010 |
| Huisvesting | Vleesvarkens moeten een binnenruimte van minstens 1,3 m ² en een buitenruimte van minstens 1,0 m ² hebben. Minstens 50% van de vloer moet dicht zijn en ingestrooid. Betonroosters mogen een maximum spleetbreedte hebben van 18 mm, metalen driekantroosters mogen een maximum spleetbreedte van 15 mm hebben. Tijdens de meting moet voldaan worden aan de geldende dierwelzijnsnormen. | | |
| Klimaat | De vleesvarkens worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft. | | |
| Voeding | Het dagelijkse rantsoen is gebaseerd op CVB-normen of meer. Minimaal 170 g RE/EW in het startvoer en 155 g RE/EW in het afmestvoer. Registratie van voersamenstelling en – hoeveelheid is noodzakelijk. Waterverstrekking gebeurt onbeperkt. Volgens de SKAL-normen moet minstens 80% van het voer van biologische oorsprong zijn. Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. | | |
| Productie | Gemiddeld begingewicht van de vleesvarkens ligt tussen de 23 en 27 kg, het eindgewicht tussen 105 en 115 kg. De groei in dit traject bedraagt minimaal 700 g/dag. De verblijfsduur in deze afdeling ligt tussen de 16 en 18 weken. | | |
| Gezondheid en hygiëne | Bij de veterinaire zorg wordt het gebruik van gangbare geneesmiddelen beperkt en zo mogelijk gebruik gemaakt van alternatieve behandelmethoden. | | |
| Aantal dieren | Minimaal 50 vleesvarkens per afdeling en 10 tot 40 vleesvarkens per hok. De hokbezetting is minimaal 90%. | | |
| Registratie | <p><i>Gedurende de gehele ronde in de vleesvarkensstal:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling - totaal aantal kg verstrekt ruwvoer in de afdeling - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling inclusief het restant in de mestput - aanwezige + ingaande en uitgaande dieren - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de mestput - registratie van voersamenstelling en (ruw)voerverbruik - veterinaire behandelingen op koppelniveau - CO₂-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | |

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | | |
|---|---|-----------------------------------|---------------------------------|---------------|
| Code: | Categorie: Pluimveehouderij gangbaar | Subcategorie: Legkippen | Datum: September 2013 | |
| Huisvesting | Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen. | | | |
| Strooisel | Materiaal: zand / houtkrullen / gehakseld tarwestro Laagdikte: minimaal 1 cm | | | |
| Klimaat | De legkippen worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 2.500 ppm blijft. | | | |
| Voeding | Leghennen | OE CVB (MJ) | vLYS (g) | v(M+C) (g) |
| | Pre-leg, 17-19 weken | 11,6 | 6,6 | 5,6 |
| | 19 - 35 weken | 11,8 | 6,8 | 6,1 |
| | 35 - 55/60 weken | 11,7 | 6,6 | 5,8 |
| | na 55/60 weken | 11,6 | 6,4 | 5,7 |
| De kippen krijgen een gangbaar voer met minimaal de in de bovenstaande tabel vermelde gehalten. Het voerverbruik per aanwezige legkip vanaf 20 weken dient minimaal 105 g per dier per dag te zijn. Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. | | | | |
| Water | Verstrekkingduur: onbeperkt tijdens de lichtperiode. Water/voerverhouding: 1,70 – 1,80. Er mogen geen wateradditieven worden gebruikt welke een pH verlagend effect hebben zoals bv. organische zuren. | | | |
| Productie | De eiproductie moet op jaarbasis minimaal 300 eieren/kip zijn. | | | |
| Gezondheid en hygiëne | De legkippen krijgen standaard veterinaire zorg. Het uitvalpercentage mag niet hoger zijn dan 10% in de volledige productieperiode. | | | |
| Aantal dieren | De groepsgrootte bedraagt minimaal 750. | | | |
| Registratie | <p><i>Gedurende vier weken voorafgaand aan de meting:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling/stal - totaal aantal kg verstrekt strooisel in de afdeling/stal - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling/stal - aanwezige + ingaande en uitgaande dieren (ook tijdens de meting) <p><i>Tijdens de meting:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - productie: aantal eieren, eigewicht, diergewicht en uitval - voeropname - tijdstippen van verwijderen van mest/strooisel uit de afdeling/stal - registratie van voersamenstelling - CO₂-concentratie - strooisellaagdikte - drogestofgehalte strooiselmest (per meetdag een stalrepresentatief mengmonster) - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | | |

N.B. de landbouwkundige voorwaarden worden herzien in een volgende versie van dit document.

| Landbouwkundige randvoorwaarden | | | | |
|--|---|--------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| Code: | Categorie: Pluimveehouderij gangbaar | Subcategorie: Vleeskuikens | Datum: September 2013 | |
| Huisvesting | Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen. | | | |
| Strooisel | Materiaal: houtkrullen (0,6 – 1,5 kg/m ²), (gehakseld) tarwestrooisel (0,6 – 2,0 kg/m ²). Turf en snijmaissilage mogen niet worden toegepast. | | | |
| Klimaat | De vleeskuikens worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft. | | | |
| Voeding | De vleeskuikens krijgen een gangbaar voer, conform richtlijnen vermeld in onderstaande tabel. | | | |
| | | OE CVB (MJ) | vLYS (g) | v(M+C) (g) |
| | Vleeskuiken starter 0 - 14 dagen | 12,2 | 11,5 | 8,2 |
| | Vleeskuikenvoer II 14 - 30 dagen | 12,4 | 10,5 | 7,6 |
| | Vleeskuikenvoer III vanaf 30 dagen | 12,6 | 9,7 | 7,1 |
| | Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. | | | |
| Water | Verstrekkingduur: onbeperkt tijdens de lichtperiode Water/voerverhouding: 1,70 – 1,80 Er mogen geen wateradditieven worden gebruikt welke een pH verlagend effect hebben, zoals bv. organische zuren. | | | |
| Productie | De vleeskuikens dienen een eindgewicht te hebben van gemiddeld minimaal 2200 g op een leeftijd van maximaal 45 dagen. | | | |
| Gezondheid en hygiëne | De vleeskuikens krijgen standaard veterinaire zorg. Het uitvalspercentage mag niet hoger zijn dan [1% + (dagen leeftijd kuikens x 0,06%)] van het beginaantal. | | | |
| Aantal dieren | De groepsgrootte bedraagt minimaal 1000. | | | |
| Registratie | <i>Gedurende de ronde waarin de meting valt:</i> <ul style="list-style-type: none"> - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling/stal - totaal aantal kg verstrekt strooisel in de afdeling/stal - totale hoeveelheid water in de afdeling/stal - aanwezige + ingaande en uitgaande dieren (ook tijdens de meting) - veterinaire behandelingen op koppelniveau en uitval - technische resultaten - registratie van voersamenstelling - CO₂-concentratie - drogestofgehalte strooiselmest (per meetdag een stalrepresentatief mengmonster) - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen | | | |

Bijlage A2: rekenregels ten behoeve van de natuurlijke tracergas ratiomethode

Zoals vermeld in de tekst van deel A is de natuurlijke tracergas ratiomethode gebaseerd op de totale warmte productie van de dieren en hun mest zoals gepubliceerd in CIGR (2002) en de conversiefactoren van warmteproductie naar CO₂-productie zoals gepubliceerd in Pedersen et al. (2008). Gemakshalve zullen deze rekenregels in een volgende versie hier worden opgenomen.

DEEL B: bepalen van het verwijderingsrendement van nageschakelde luchtreinigingstechnieken in het kader van een algemene erkenning

Versie

Auteurs

Dit deel wordt ingevuld in een toekomstige versie.

DEEL C: bepalen van emissies bij emissie monitoring in het kader van doelsturing

Versie

Januari 2024

Auteurs

Julio Mosquera, WLR
Nico Ogink, WLR
Jan Vonk, WLR
Albert Winkel, WLR

1 Inleiding

1.1 Context

Met de ontwikkeling van sensortechnologie wordt het technisch mogelijk, wetenschappelijk betrouwbaar en financieel betaalbaar om (near)realtime en continu concentraties en emissies op veehouderijbedrijven te meten. Dit opent een nieuwe vorm van emissieregulering die ook wel met het woord 'doelsturing' wordt aangeduid. Bij deze vorm van regulering ontvangen veehouders een vergunning waarin een maximaal toegestane hoeveelheid emissie van een bepaalde stof over een zekere tijdsperiode (bijvoorbeeld een jaar) is vermeld. Met een emissie monitoringssysteem kan worden bepaald in welke mate dit emissiebudget daadwerkelijk wordt uitgeput. Voor veehouders biedt deze reguleringsvorm meer mogelijkheden om (combinaties van) huisvestingssystemen, staltechnieken, managementmaatregelen en nageschakelde luchtreinigingstechnieken in te zetten. Het reguleringssysteem biedt voor rijksoverheid en bevoegd gezag meer zekerheid over de emissie en de milieu-impact van een veehouderijbedrijf dan een reguleringssysteem op basis van standaard emissiefactoren. In een brief van de Minister van LNV aan de Tweede Kamer van 25 november 2022 wordt hierover aangegeven dat de ontwikkeling van een reguleringssysteem op basis van doelsturing verder zal worden doorontwikkeld en ondersteund. In het kader van de geschetste ontwikkeling heeft het Ministerie van LNV in 2023 opdracht gegeven aan Wageningen Livestock Research om een protocol voor emissie monitoring op te stellen.

1.2 Doel

Dit document heeft als doel om te beschrijven hoe emissies uit stalgebouwen op correcte wijze kunnen worden gemonitord door meetinstanties in het kader van een doelvoorschriftenvergunning met een emissieplafond aan een specifieke veehouderij.

1.3 Overeenkomsten en verschillen delen A/B vs. C

Zowel delen A, B als C van dit document zijn erop gericht emissies uit stalgebouwen op een correcte wijze vast te stellen. De belangrijkste overeenkomsten en verschillen met deel C zijn samengevat in onderstaand overzicht.

DELEN A en B (algemene erkenning)

Focus op juistheid en zekerheid
Focus op representativiteit

Emissiegetal representatief voor populatie

Actoren en taken/verantwoordelijkheden
- Producent brengt stalsysteem/techniek in
- Veehouder is onderzoekslocatie
- Meetinstantie verricht meetonderzoek (experimenteel karakter)
- IenW/RvO ontvangen meetrapport

Er is keuze uit proefdesigns
Er moet voldaan worden aan landbouwk. randvoorw.
Stalbron moet valide worden bemeten in termen van meetstrategie en meetmethoden

Meetinstantie stelt onderzoeksrapportage op

DEEL C (emissie monitoring)

= Focus op juistheid en zekerheid
≠ Focus op volledigheid

≠ Emissiegetal is stalspecifiek

Actoren en taken/verantwoordelijkheden
≠ - Producent afwezig
≠ - Veehouder is vergunningshouder
≠ - Meetinstantie verricht emissie monitoring (observatieel karakter)
≠ - Bevoegd gezag (Prov./Gem.) ontvangt emissiegetal

≠ Er wordt gemeten in een stal "as is"
≠ Er wordt gemeten in een stal "as is"
= Stalbron moet valide worden bemeten in termen van meetstrategie en meetmethoden

≠ Meetinstantie informeert veehouder via dashboard
Meetinstantie informeert bevoegd gezag op wijze "Data coordinator"

1.4 Afbakening huidige inzetbaarheid

Het routinematig en in de praktijk monitoren van emissies op veehouderijbedrijven door meetinstanties ten behoeve van een doelvoorschriftvergunning is op dit moment mogelijk in de volgende situaties.

Wat betreft stalomgeving/diercategorie:

- alle stalgebouwen met mechanische ventilatie zonder uitlopen waarbij het ventilatiedebiet kan worden gemeten met meetventilatoren. Hieronder vallen veelal stallen voor vleeskalveren, pluimvee, varkens en (soms) melkgeiten;
- alle stalgebouwen met mechanische ventilatie zonder uitlopen waarbij het ventilatiedebiet kan worden bepaald met een gevalideerde natuurlijke tracergas ratiomethode. Een gevalideerde natuurlijke tracergas ratiomethode is beschikbaar voor de diercategorieën: vleeskuikens, zeugen, gespeende biggen en vleesvarkens (Mosquera et al., 2012).

Ten aanzien van stalgebouwen met mechanische ventilatie moet opgemerkt worden dat de stand van meettechniek op dit moment tevens toe laat emissies te monitoren aan de uitstroomzijde van nageschakelde luchtreinigingstechnieken, zoals luchtwassers, biobedden, warmtewisselaars en mestdroogtunnels.

Wat betreft de te meten stof:

- koolstofdioxide (CO₂) ten behoeve van de natuurlijke tracergas ratiomethode;
- ammoniak (NH₃) als emitterende stof;
- methaan (CH₄) als emitterende stof;
- optioneel: lachgas (N₂O) als emitterende stof.

Voor deze stoffen zijn continue (sensor)meetsystemen beschikbaar die kunnen voldoen aan het prestatieniveau zoals beschreven in deel D.

In overige stalomgevingen en voor andere te meten stoffen is emissie monitoring op dit moment nog niet mogelijk. Hierbij spelen belemmeringen een rol ten aanzien van de bemeetbaarheid van staltypen, zoötechnische factoren en de beschikbaarheid van meetmethoden. **Opgemerkt moet worden dat met de verdere ontwikkeling van (sensor)meetsystemen en het voortschrijden van (methodologisch) onderzoek de inzetbaarheid van emissie monitoring verder zal toenemen.** Hierna volgt een korte samenvatting van situaties waarin er heden nog belemmeringen zijn voor emissie monitoring.

Bemeetbaarheid van staltypen:

- stallen waar niet met voldoende zekerheid een representatieve uitlaatconcentratie gemeten kan worden. Dit betreffen bijvoorbeeld natuurlijk geventileerde stallen met meerdere nokken, zeer open stallen en stallen met dwarsventilatie;
- stallen met overdekte of vrije uitlopen: deze kunnen momenteel nog niet worden bemeet omdat de onderdruk in de stal bij open uitloopschuiven zeer laag is en emissie door die openingen ongecontroleerd optreedt.

Zoötechnische aspecten:

- natuurlijk geventileerde stallen waar het ventilatiedebiet bepaald moet worden met de natuurlijke tracergas ratiomethode en de dieren worden geweid. Bij de natuurlijke tracergas ratiomethode wordt het ventilatiedebiet onder andere bepaald op basis van de CO₂-productie van de dieren. Tijdens beweiding zijn de dieren buiten het stalgebouw en kan deze methode daarom niet worden toegepast;
- natuurlijk geventileerde stallen waar het ventilatiedebiet bepaald moet worden met de natuurlijke tracergas ratiomethode en de dieren buiten het stalgebouw (in een ander gebouw) worden gemolken. Net als bij het voorgaande punt zijn de dieren in deze situatie niet aanwezig in het stalgebouw en kan de natuurlijke tracergas ratiomethode daarom niet worden toegepast.
- natuurlijk geventileerde stallen waar het ventilatiedebiet bepaald moet worden met de natuurlijke tracergas ratiomethode maar waar een stropot aanwezig is. Een stropot is een nog niet goed te voorspellen en substantiële bron van CO₂. Hierdoor kan de natuurlijke tracergas ratiomethode niet (zonder aanvullende metingen van de CO₂-productie uit de stropot) worden toegepast;

Meetmethoden:

- stoffen waarvoor nog geen continue (sensor)meetsystemen bestaan. Dit gaat om de stoffen fijnstof, geur en bioaerosolen;
- diercategorieën waarvoor de natuurlijke tracergas ratiomethode ter bepaling van het ventilatiedebiet nog niet (volledig) is gevalideerd. Dit gaat om melkkoeien, leghennen en melkgeiten.

2 Organisatorische aspecten

2.1 Actoren en verantwoordelijkheden

Het vaststellen van de emissie uit een stalgebouw in het kader van een doelvoorschriftvergunning met emissieplafond kent doorgaans de volgende actoren:

1. de veehouderij aan wie een doelvoorschriftvergunning wordt verleend;
2. de meetinstantie die de monitoring uitvoert en het resultaat rapporteert;
3. het bevoegd gezag die de doelvoorschriftvergunning verleent en het monitoringsresultaat ontvangt.

De veehouderij is verantwoordelijk voor:

- het afnemen van de dienst van emissie monitoring;
- het aanvragen van de doelvoorschriftvergunning;
- het verzamelen en beschikbaar stellen van de informatie nodig voor het opstellen van een beschrijving van het stalgebouw in het meetplan;
- het verzamelen en beschikbaar stellen van gegevens met betrekking tot dieren, technische resultaten, enzovoort, zoals dit in het meetplan is beschreven;
- het aanleveren van het monitoringsresultaat aan het bevoegd gezag.

De meetinstantie is verantwoordelijk voor:

- het leveren van de dienst van emissie monitoring aan de veehouderij;
- het opstellen van een beschrijving van het stalgebouw;
- het opstellen van een meetplan voor het stalgebouw;
- het uitvoeren van de monitoring (installatie meetvoorzieningen, controle, onderhoud en kalibratie van de meetvoorzieningen, metingen, datacontrole, -verwerking en -analyse, opstellen rapportage).

De veehouderij neemt emissie monitoring als dienst af van de meetinstantie. Het is niet mogelijk dat een veehouderij, in het kader van een doelvoorschriftvergunning, zelf emissies monitort en rapporteert aan het bevoegd gezag om twee redenen: a) het op correcte wijze monitoren van emissies zoals beschreven in dit document vergt veel kennis, ervaring en technische faciliteiten (zie ook: hoofdstuk A2.2.1 'Eisen aan de meetinstantie') die alleen bij gespecialiseerde meetinstanties aanwezig zijn; en b) meetinstanties zijn onafhankelijke actoren zonder belang bij het monitoringsresultaat waardoor twijfel over de betrouwbaarheid van het monitoringsresultaat ten gevolge van belangen geen rol spelen. Het meetsysteem in het stalgebouw dient eigendom te zijn en te blijven van de meetinstantie die tevens van a tot z verantwoordelijk is voor het op correcte wijze installeren, onderhouden en kalibreren en het tijdig doen van vervangingen. Deze situatie kan vergeleken worden met energiemeters in woningen in Nederland welke geen eigendom zijn van de bewoner maar van de netbeheerder. In deze werkwijze betaalt de veehouderij een prijs voor het afnemen van de dienst van emissie monitoring maar heeft verder geen bemoeienis met het meetsysteem in de breedste zin van het woord.

Het bevoegd gezag is verantwoordelijk voor:

- het verstrekken van de doelvoorschriftvergunning aan de veehouderij;
- toezicht en handhaving;
- het ontvangen van het monitoringsresultaat aangeleverd door de meetinstantie.

2.2 Meetplan bij een doelvoorschriftvergunning

De aard van een meetplan en het verschil met een meetprotocol is omschreven in paragraaf A1.5. Het opstellen van een meetplan per stalgebouw is wetenschappelijk gezien een vereiste om te komen tot

kwaliteitsvolle metingen. In het meetplan wordt gedetailleerd de veehouderij omschreven alsook hoe de emissies gaan worden bepaald. In het meetplan wordt beschreven:

- de veehouderij/het stalgebouw dat gemonitord wordt (zie ook hoofdstuk A3.1):
 - stalgebouw en huisvestingssysteem
 - dieren
 - bedrijfsinrichting/installaties
 - ventilatie en klimaat
 - bedrijfsmanagement
 - productiecycclus
 - visualisaties van belangrijke aspecten van bedrijfsinrichting en bedrijfsmanagement, emissieprocessen en metingen
- de wijze van het bepalen van het ventilatiedebiet;
- de uitvoering van het meetsysteem voor de emitterende stof, inclusief meetposities, kwaliteitsborging, periodieke controlemetingen en onderhoud;
- een uitwerking van de totale meetonzekerheid van het meetsysteem;
- de (eventuele) lokale logging, verzending (naar een dataplatform), opslag en beveiliging van de meetdata, alsook toegang/autorisatie;
- de wijze van controle van de data op volledigheid, kwaliteit en consistentie;
- de criteria voor inclusie en exclusie van meetdata voor verdere verwerking;
- de wijze van berekenen van emissies op basis van gemeten data;
- de wijze van schatten van emissies voor perioden zonder gemeten data ten gevolge van downtime van het meetsysteem.

2.3 Rapportage monitoringsresultaat aan bevoegd gezag

De aard en frequentie van de terugkoppeling van het monitoringsresultaat aan het bevoegd gezag maakt geen onderdeel uit van dit document. Deze aspecten worden bepaald door het bevoegd gezag. De in 2023 aangestelde Landelijk Coördinator data-aspecten (Job Oostveen, TNO) zal hierover advies uitbrengen.

3 Meetstrategie

3.1 Uitgangspunt

Het uitgangspunt in Deel C is dat luchtconcentraties continu worden gemeten met een (sensor)meetsysteem waarvan voor de emitterende stof en diercategorie is aangetoond dat deze voldoet aan het prestatieniveau zoals omschreven in Deel D. Dit is thans mogelijk voor ammoniak en methaan, optioneel lachgas. Het is nog niet mogelijk voor fijnstof, geur en bioaerosolen.

Het meetsysteem mag niet voor bepaalde periodes worden uitgezet, tenzij er risico is op beschadiging (zoals bij het schoonspuiten van afdelingen of stallen). Tijdens leegstandsperiodes dienen metingen door te lopen zodat een volledig jaarbeeld van concentraties en emissies wordt verkregen.

3.2 Bemeetbaarheid van het stalgebouw

De tekst weergegeven in hoofdstuk A4.4.1 is hier eveneens van toepassing.

3.3 Meetposities

De tekst weergegeven in hoofdstuk A5.4 is hier eveneens van toepassing.

4 Meetmethoden ventilatiedebiet

4.1 Methoden

Het ventilatiedebiet wordt bepaald op basis van één of meerdere van drie methoden:

1. meetventilatoren;
2. werkventilatoren met registratie;
3. tracergas ratiomethode met het CO₂ geproduceerd door de dieren (en hun mest) als natuurlijk tracergas.

De tekst weergegeven in hoofdstuk A6 is hier eveneens van toepassing.

4.2 Kwaliteitsborging

De volgende aspecten worden toegepast om de kwaliteit van het ventilatiedebiet te borgen:

- meetventilatoren worden periodiek gekalibreerd. De kalibratietermijn wordt daarbij onderbouwd gekozen door de meetinstantie. Wanneer meetventilatoren hierbij tevens onderhoud krijgen, wordt er zowel een meting vooraf ('as found'-kalibratie) als naderhand ('as left'-kalibratie) uitgevoerd;
- werkventilatoren worden periodiek gecontroleerd. Dit kan bijvoorbeeld tijdens leegstand door het monteren van een gekalibreerde meetventilator en het doorlopen van het gehele bereik (10, 20, ..., 90%). Alternatief kan de meetventilator gedurende de gehele ronde geïnstalleerd blijven, en tussen rondes over werkventilatoren gerouleerd worden;
- CO₂-sensoren die gebruikt worden voor de natuurlijke tracergas ratiomethode worden periodiek gekalibreerd/gecontroleerd. De kalibratie-/controletermijn wordt daarbij onderbouwd gekozen door de meetinstantie. Hierbij hebben vergelijkende of referentiemetingen de voorkeur omdat daarbij ook mogelijke (omgevings-)effecten in beschouwing worden genomen;
- de tracergas ratiomethode met natuurlijk geproduceerd CO₂ kan eveneens geschikt zijn voor het verifiëren van door meetventilatoren of werkventilatoren met registratie vastgelegde debieten.

5 Meetmethoden luchtconcentraties

5.1 Continue meetsystemen

Het uitgangspunt in deel C is dat luchtconcentraties continu worden gemeten met een meetsysteem waarvan voor de emitterende stof en diercategorie is aangetoond dat deze voldoet aan het prestatieniveau zoals omschreven in deel D. Dit is thans mogelijk voor ammoniak en methaan, optioneel lachgas. Het is nog niet mogelijk voor fijnstof, geur en bioaerosolen.

5.2 Standaard referentiemethoden

De continue meting van de luchtconcentraties van de emitterende stof wordt gecontroleerd aan de hand van de standaard referentiemethode voor de emitterende stof zoals omschreven in hoofdstuk A7.

5.3 Kwaliteitsborging luchtconcentratiemetingen

De volgende aspecten worden toegepast om de kwaliteit van de continue luchtconcentratiemetingen te borgen:

- luchtconcentraties worden gemeten met een meetsysteem waarvan voor de emitterende stof en diercategorie is aangetoond dat deze voldoet aan het prestatieniveau zoals omschreven in deel D;
- Bij meerdere emissiepunten (zoals meerdere ventilatoren of ventilatorgroepen in een stal) is het mogelijk om de lucht van elk van de meetposities door middel van een verzamelleiding met kritieke capillairen per meetpositie in gelijke mate aan te zuigen en als menglucht langs het meetsysteem te voeren. Het is eveneens mogelijk lucht van meerdere emissiepunten (zoals bij ventilatietechnisch onafhankelijk uitgevoerde afdelingen) met afzonderlijke monsternameleidingen vanaf elk emissiepunt naar het meetsysteem te voeren waarbij vóór het meetsysteem een meetpuntschakelaar wordt gebruikt. Bij gebruik van een meetpuntschakelaar moet de schakelfrequentie en meetduur per monsternamepunt zodanig worden gekozen dat een stabiele concentratiewaarde wordt bereikt en alleen die dat deel van de meetduur per monsternamepunt wordt gebruikt voor verdere berekeningen.
- continue meetsystemen zijn zodanig uitgevoerd dat er gelijktijdig een duplo monstername/meting met de SRM kan worden uitgevoerd van het emitterende gas en van CO₂ als dit als natuurlijk tracergas wordt gebruikt (zie hoofdstuk A7);
- tenminste tweemaal per jaar vindt er een controlemeting plaats door een gelijktijdige duplo monstername/meting met de SRM van het emitterende gas en van CO₂ als dit als natuurlijk tracergas wordt gebruikt, bij een monstername-/meetduur van 24 uur. De gemiddelde waarde van het continue meetsysteem over de 24 uur wordt vergeleken met het gemiddelde van de duplo SRM meting over dezelfde tijdsperiode. Wanneer het verschil kleiner dan of gelijk is aan 10%, is geen actie vereist. Wanneer het verschil ligt tussen 10 en 20% van de SRM 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 waarde moet het meetsysteem gerepareerd of vervangen worden en zo nodig opnieuw gekalibreerd. Hierna wordt opnieuw een SRM meting uitgevoerd.

6 Dataverwerking en -analyse

6.1 Controle op volledigheid, kwaliteit en consistentie

De meetdata van een stalgebouw worden tenminste dagelijks verzonden naar het dataplatform van de meetinstantie en tenminste dagelijks geautomatiseerd gecontroleerd op volledigheid, kwaliteit en consistentie. De controle wordt uitgevoerd zoals omschreven in hoofdstuk A8.1.

6.2 Data-inclusie, data-exclusie en data-aggregatie

Alle meetdata worden opgenomen in de berekening van emissie, met uitzondering van meetdata die door technische storingen of menselijke fouten in de metingen en/of verdere processtappen achteraf onbruikbaar zijn en niet meer tijdig opnieuw vastgesteld kunnen worden.

De emissiedata worden geaggregeerd tot gemiddelden op dagniveau waarbij tenminste voor 80% van de uren (19 van de 24 uren) valide meetdata is verkregen. Dagen met minder dan 19 uren aan emissiedata worden geëxcludeerd voor verdere dataverwerking en gelden als dagen met een ontbrekende emissiewaarde.

6.3 Berekening emissie

Emissies worden berekend zoals omschreven in hoofdstuk A8.4 en formule (8) daarin. De daar beschreven methodieken resulteren in een emissie per dier. Om de gerealiseerde emissie te kunnen vergelijken met het emissieplafond op stalgebouw- of bedrijfsniveau wordt eveneens de totale stal- of bedrijfsemissie (kg/jaar) berekend. Zoals aangegeven in paragraaf C2.3 maken de aard en frequentie van de terugkoppeling van het monitoringsresultaat aan het bevoegd gezag geen onderdeel uit van dit document. Deze aspecten worden bepaald door het bevoegd gezag. De in 2023 aangestelde Landelijk Coördinator data-aspecten (Job Oostveen, TNO) zal hierover advies uitbrengen.

6.4 Schatting van emissies voor perioden zonder meetdata

Voor het berekenen van de totale jaaremissie dienen voor tenminste 80% van de dagen (292 van de 365 dagen per jaar) valide meetdata beschikbaar zijn.

Uit het hiervoor beschrevene volgt dat dagen zonder valide meetdata kunnen bestaan uit:

- dagen waarvan meetdata ontbreekt of is geëxcludeerd ten gevolge van technische storingen of menselijke fouten in de metingen en/of verdere processtappen;
- dagen waarvan meetdata is geëxcludeerd omdat voor minder dan 19 van de 24 uren (80%) valide meetdata is verkregen.

Voor dagen zonder valide meetdata moet de emissie worden geschat door lineair interpoleren tussen de laatste dag vóór en eerste dag na de periode zonder meetdata.

De totale stal- of bedrijfsemissie wordt gerapporteerd voor alle 365 dagen in het jaar, op basis van valide gemeten en geïnterpoleerde waarden.

DEEL D: ontwikkeling en validatie van (sensor)meetsystemen voor continue meting van gasconcentraties

Versie

Januari 2021

Auteurs

Jan Vonk, WLR
Danielle van Dinther, TNO
Julio Mosquera, WLR
Nico Ogink, WLR

Deel D is gebaseerd op van het rapport '*Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoring van NH₃ en CH₄ uit veehouderijen: Toepassing bij sensorsystemen voor vaststellen van stalemissies*' (Vonk et al., 2021).

1 Inleiding

Zowel voor het bepalen van de emissie in het kader van een algemene erkenning (deel A) als in het kader van doelsturing (deel C) zijn continue (sensor)meetsystemen nodig. Begin 2024 is dit voor ammoniak (NH₃), methaan (CH₄) en kooldioxide (CO₂) tegen relatief beperkte kosten mogelijk. Het is hierbij belangrijk dat prestaties van (sensor)meetsystemen vooraf goed in beeld worden gebracht. Voor duurdere toestellen bedoeld voor onderzoeksdoeleinden (inclusief die voor lachgas; N₂O) is dit eveneens van belang. 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. Tevens dient vastgesteld te worden, dat de te gebruiken apparatuur onder de (omgevings-)condities die bij verschillende diercategorieën aangetroffen worden (blijvend) kan functioneren en hierbij niet wordt beïnvloed door de samenstelling van de stallucht (interferentie).

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

1.1 Doelstelling

Deel D heeft als doel om te beschrijven op welke manier het prestatieniveau van (sensor)meetsystemen voor concentraties van gassen uit de veehouderij moeten worden bepaald en welk prestatieniveau als acceptabel gezien kan worden.

1.2 Afbakening

Deel D is de voortzetting van het rapport 'Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoring van NH₃ en CH₄ uit veehouderijen: Toepassing bij sensorsystemen voor vaststellen van stalemissies' (Vonk et al., 2021).

Deze versie beperkt zich tot sensoren die geschikt zijn voor het meten van de volgende gassen: ammoniak (NH₃), koolstofdioxide (CO₂) en methaan (CH₄). Reden om CO₂ 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). Te zijner tijd zal de validatie van stofsensoren in deel E worden uitgewerkt.

1.3 Aanpak en indeling

Deel D 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

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

hoofddlijn 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; thans: NVN-CEN/TS 17660-1:2022) en de "Guide to the expression of uncertainty in measurement" (GUM; JCGM 100:2008). 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 (zie bijlage 3 in Vonk et al., 2021) en de Europese standaard NEN-EN 14793:2017 voor vergelijking van referentiemethodes met alternatieve methodes voor gasconcentratiemetingen.

Deel D geeft allereerst een beschrijving van relevante kenmerken van het toepassingsgebied, die nodig zijn voor het uitwerken van de testprocedures (hoofdstuk D2). Vervolgens worden de testen voor het bepalen van een aantal meeteigenschappen en meetnauwkeurigheid in het laboratorium beschreven (hoofdstuk D3). De wijze waarop sensoren in de praktijkomgeving gevalideerd moeten worden ten opzichte van erkende referentiemethodes is uitgewerkt in hoofdstuk D4, waarbij de werkwijze wordt geïllustreerd door middel van een dataset verkregen uit de praktijk. Tenslotte wordt in hoofdstuk D5 ingegaan op installatie en onderhoud van bedrijfsmonitoren, alvorens in hoofdstuk D6 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 2.1 geeft statistische kenmerken voor waargenomen concentraties NH₃, CO₂ en CH₄ 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 2.1 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] |
| NH ₃ buitenlucht (ppm) | Pluimvee | 19 | 457 | 5,2 | 8,8 | 10,7 | 0,1 | 72,7 | [0,1 : 30] |
| | Melkvee | 12 | 59 | 0,12 | 0,14 | 0,10 | 0,02 | 0,54 | [0,1 : 0,3] |
| CO ₂ stallucht (ppm) | 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 buitenlucht (ppm) | Melkvee | 18 | 475 | 675 | 702 | 171 | 439 | 1880 | [439 : 1044] |
| | Varkens | 40 | 96 | 1720 | 1882 | 696 | 865 | 4070 | [865 : 3274] |
| CH ₄ stallucht (ppm) | Pluimvee* | 19 | 274 | 1500 | 1700 | 701 | 711 | 4550 | [711 : 3101] |
| | Melkvee | 13 | 53 | 424 | 435 | 40 | 392 | 587 | [392 : 514] |
| CH ₄ buitenlucht (ppm) | 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] |
| Temperatuur stallucht (°C) | Pluimvee | 19 | 197 | 2,7 | 3,6 | 2,8 | 1,8 | 29,6 | [2 : 9] |
| | Melkvee | 18 | 47 | 2,5 | 3,1 | 1,5 | 1,9 | 8,9 | [2 : 6] |
| RV stallucht (%) | 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] |
| RV stallucht (%) | Pluimvee | 19 | 413 | 24 | 25 | 4 | 16 | 35 | [17 : 32] |
| | Melkvee | 14 | 266 | 92 | 89 | 10 | 51 | 100 | [69 : 100] |
| RV stallucht (%) | 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 D4) 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, dat wil zeggen 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 ± 5% te blijven gedurende de tests. Het gekalibreerde meetbereik beslaat minimaal het 95% gegevensbereik uit tabel 2.1 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 D3.3 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 ¼ 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 D2). 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:

$$u(lof) = \frac{\rho_{max}}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

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 tweezijdige 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:

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

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 NH₃ bij melkvee, en 1,0 ppm NH₃ bij varkens en pluimvee;
- 400 ppm CO₂;
- 5 ppm CH₄ bij melkvee en varkens, en 1,0 ppm CH₄ bij pluimvee.

De herhaalbaarheid ligt in alle gevallen onder de 10% bij betreffende detectielimiet, en 5% voor bijbehorende 95%-bovengrens (zie tabel 2.1).

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:

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

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 en Vlaanderen 1040 hPa verondersteld

X_{min} minimum druk verwacht tijdens monitoring, op basis van KNMI-gegevens wordt voor Nederland en Vlaanderen 970 hPa verondersteld

De maximale toegestane $u(X_V)$ binnen het ontwikkelprotocol is 5%. Indien het meetprincipe drukafhankelijk is, wordt door instrument in kwestie soms al een drukcompensatie uitgevoerd. Met deze test wordt de goede werking daarvan geverifieerd, maar het kan ook nodig blijken hiervoor te corrigeren. Er zijn dan meer niveaus benodigd om de lineariteit van het effect vast te stellen. Hiertoe kan bijvoorbeeld de procedure uit de volgende paragraaf gevolgd worden.

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:

$$\hat{b} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i C_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n C_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad (4)$$

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:

$$\hat{a} = C_m - \hat{b} X_m \quad (5)$$

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:

$$u(X) = \left[\frac{\hat{b}^2}{3} [(X_{min} - X_m)^2 + (X_{min} - X_m)(X_{max} - X_m) + (X_{max} - X_m)^2] + u(lof)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

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:

$$\sigma = 2\sqrt{u(lof)^2 + u(X_v)^2 + u(X)^2} \quad (7)$$

Met

| | |
|----------|---|
| σ | uitgebreide meetonzekerheid |
| $u(lof)$ | lack-of-fit in de kalibratiefunctie |
| $u(X_v)$ | 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 dataset met uitwerking labtest wordt weergegeven in Schep et al. (2023).

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 deel A: bepaling van emissies in het kader van een algemene erkenning, of een hieraan equivalente methode (EM). Equivalente methoden zijn methoden die voldoen aan de vergelijking met de SRM, volgens de hier beschreven procedure gebaseerd op NEN-EN 14793:2017 en zoals voor NH₃ eerder uitgewerkt in bijlage 3 in Vonk et al. (2021). 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. Te onderscheiden categorieën zijn in ieder geval melkkoeien, vleeskalveren, varkens, leghennen, vleeskuikens en geiten.

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 het multi-bedrijfslocatie design.
- 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 deel A. 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 A3.1.3, 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 ten opzichte van 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. Rekenvoorbeelden met praktijkdata worden weergegeven in bijlage 1 en in Schep et al. (2023).

Omdat de onzekerheid verbonden aan de metingen door de SRM/EM niet verwaarloosbaar zijn ten opzichte van 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 bijvoorbeeld NEN-EN 14793:2017). 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 D4.1, 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 1), 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 bijlage 3 in Vonk et al., 2021).

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 D3.1.3. 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 veldkalibratielijne 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 regressielijne 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 D5 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 onder andere 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 in beginsel op gezette tijden herhaald naar voorschrift van de leverancier. Bij sensortypen waarmee nog weinig ervaring bestaat, kan het raadzaam zijn vaker te kalibreren totdat voldoende informatie over het gedrag van sensor over tijd verkregen is. Hiervoor kunnen ijkassen 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. Als deze frequentie lager is dan fabrieksvoorschrift, dient door meetinstantie onderbouwd te worden hoe de meting geborgd blijft.

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 indien beschikbaar de instructies van de fabrikant gevolgd, waarbij aangetoond moet worden dat verschil met SRM/EM maximaal de herhaalbaarheid blijft bedragen. Wanneer geen instructies gegeven zijn, vormt een meetstrategie zoals beschreven in A5.3 het uitgangspunt. Door de metingen over het jaar te spreiden worden zowel de variatie in (omgevings-)omstandigheden als mogelijke drift van de sensoren meegewogen.

5.2 Installatie/oplevering

Bij de installatie worden de instructies van de leverancier opgevolgd, en dient een eventuele monsternameleiding geplaatst te worden conform het in deel A beschrevene. 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 ten opzichte van de 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 apparatuur gesignaleerd 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 uitgangscntrole 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 D4.2 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 uitvoeren van referentiemetingen zoals beschreven in deel A 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 validatieonderzoek 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.

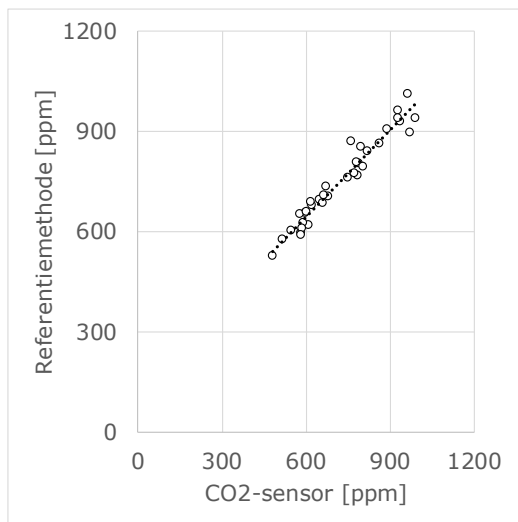
Bijlage D1: rekenvoorbeeld beoordeling gelijkwaardigheid meetmethode

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 ten opzichte van 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 D4.1. 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 D4.2 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).



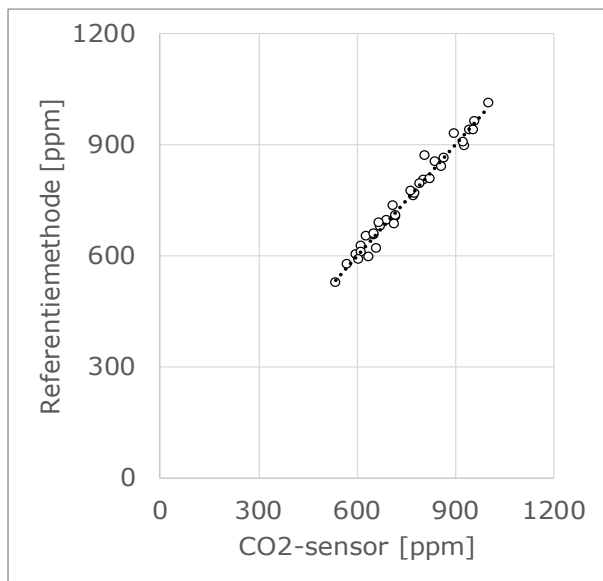
Tabel 6 Regressielijn $y = a + bx$.

| | 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 |

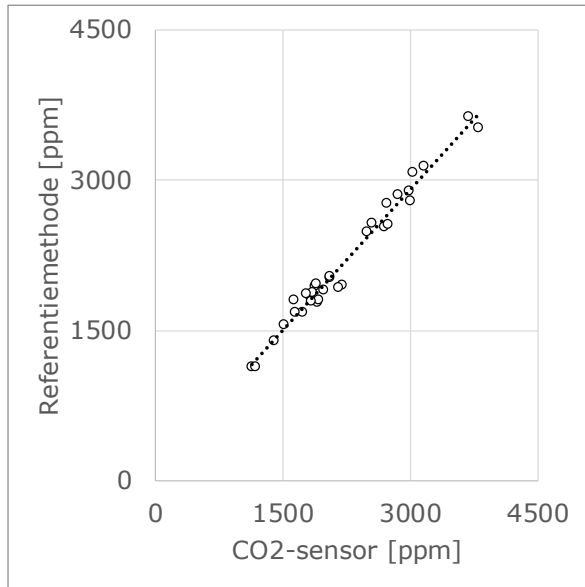
Omdat de sensoren niet voldeden is als volgende stap een veldkalibratie uitgevoerd op basis van dezelfde dataset. Vervolgens zijn met de verkregen kalibratielijn (per sensor/locatie) de sensor-data gecorrigeerd, en is opnieuw de gelijkwaardigheid van de sensor-methode (met veldkalibratielijn) beoordeeld met de procedure beschreven in paragraaf D4.1. 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 D4.2 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 $y = a + bx$.

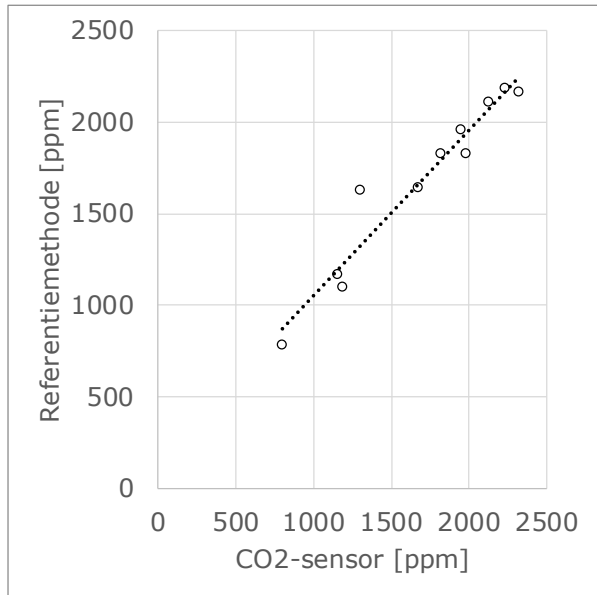
| | b | a |
|-----|------|--------|
| BG1 | 1,02 | -129,1 |
| VV1 | 0,94 | 47,4 |
| BG2 | 1,01 | -16,0 |
| VV2 | 0,84 | 358,0 |

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 D4.2 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).



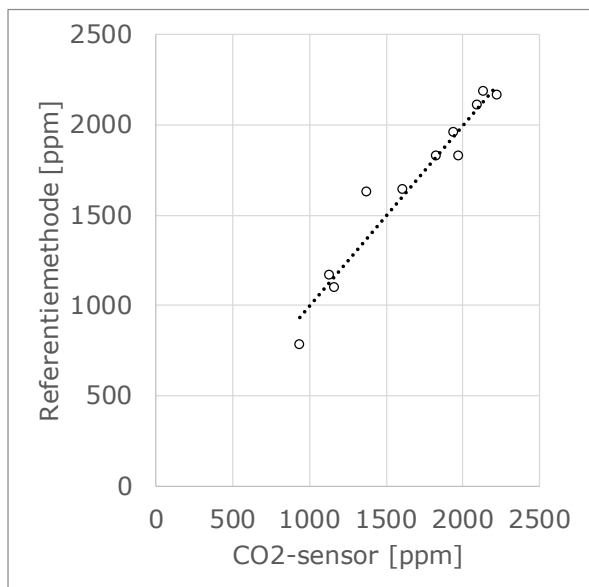
Tabel 11 Regressielijn $y = a + bx$.

| | 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 | ≥ 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 D4.1. Na deze veldkalibratie (zie hieronder) werd wel voldaan aan de gestelde criteria voor gelijkwaardigheid.

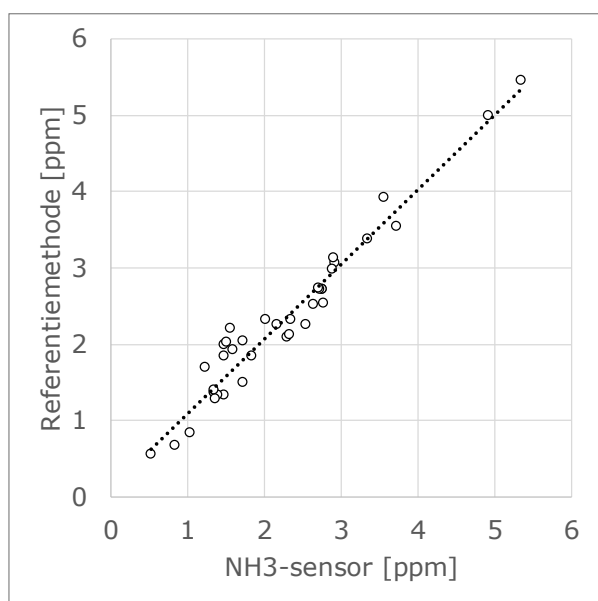


Tabel 13 Orthogonale regressie.

| 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 D4.2 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 $y = a + bx$.

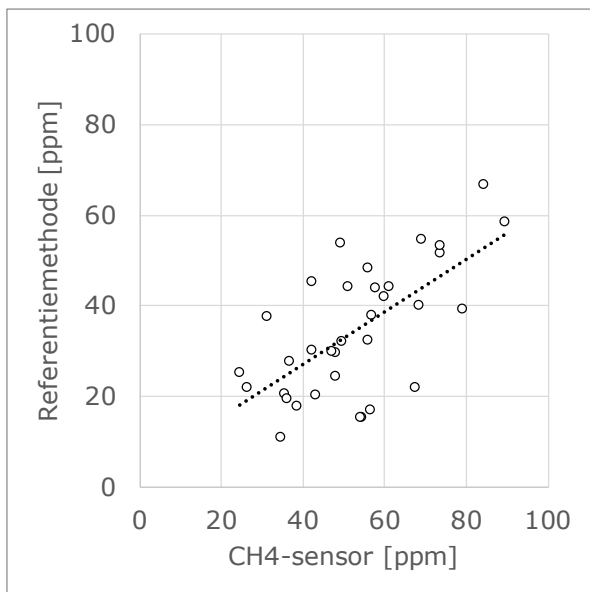
| | b | a |
|----|------|-------|
| M1 | 0,74 | 0,88 |
| M2 | 0,92 | 0,04 |
| M3 | 1,08 | -0,24 |
| M4 | 0,99 | 0,19 |

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 | $\geq 0,97$ | 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 D4.2 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).

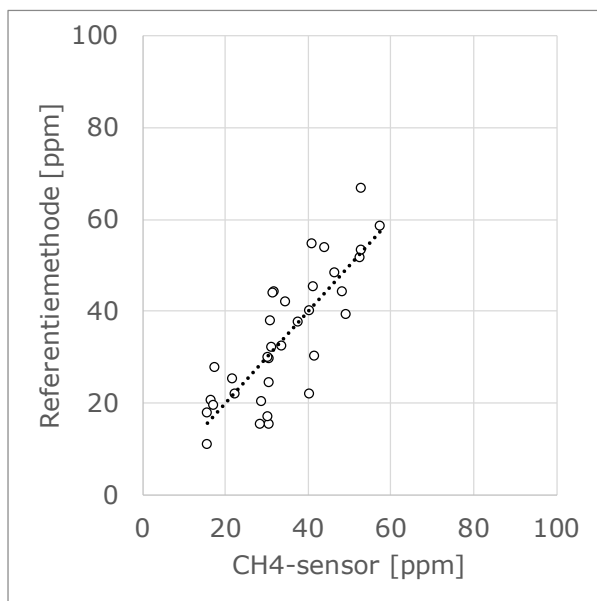
**Tabel 16** Regressielijn $y = a + bx$.

| | 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 D4.1. 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 |

DEEL E: ontwikkeling en validatie van sensormeetsystemen voor continue meting van stofconcentraties

Versie

Auteurs

Dit deel wordt ingevuld in een toekomstige versie.

DEEL F: ontwikkeling en validatie van sensormeetsystemen voor continue meting van geurconcentraties

Versie

Auteurs

Dit deel wordt ingevuld in een toekomstige versie.

Bronnenlijst

Geciteerde normen

CEN/TS 14793:2005 en. Stationary source emission - Intralaboratory validation procedure for an alternative method compared to a reference method [Emissie van stationaire bronnen - Intralaboratoriumvalidatieprocedure voor een alternatieve methode vergeleken met een referentiemethode]. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/cen-ts-14793-2005-en-88401>.

JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. Online beschikbaar op: <https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications>.

LUC/III/003. Bepaling van het gehalte gasvormig of totaal NH₃ in een gaskanaal
Online beschikbaar op: <https://emis.vito.be/nl/erkende-laboratoria/lucht-gop/compendium-luc>.

NEN 2826:1999 nl. Luchtkwaliteit - Uitworp door stationaire puntbronnen - Monsterneming en bepaling van het gehalte aan gasvormig ammoniak. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nen-2826-1999-nl-41558>.

NEN-ISO 7150-1:2002 en. Water quality - Determination of ammonium - Part 1: Manual spectrometric method [Water - Bepaling van ammonium - Deel 1: Handmatige spectrometrische methode]. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nen-iso-7150-1-2002-en-83334>.

NEN-EN-ISO 11732:2005 en. Water quality - Determination of ammonium nitrogen - Method by flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection [Water - Bepaling van ammonium stikstof - Methode voor doorstroomanalyse (CFA en FIA) en spectrometrische detectie]. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nen-en-iso-11732-2005-en-98017>.

NEN-EN 12341:2023 en. Ambient air - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM₁₀ or PM_{2,5} mass concentration of suspended particulate matter [Luchtkwaliteit - Standaard gravimetrische meetmethode voor de bepaling van de PM₁₀ of PM_{2,5}-massafractie van zwevende stof in de buitenlucht]. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nen-en-12341-2023-en-314118>.

NEN-EN 14793:2017 en. Stationary source emissions - Demonstration of equivalence of an alternative method with a reference method [Emissie van stationaire bronnen - Intralaboratoriumvalidatieprocedure voor een alternatieve methode vergeleken met een referentiemethode]. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nen-en-14793-2017-en-229560>.

NEN-EN-ISO 14911:1999 en. Water quality - Determination of dissolved Li⁺, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mn²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Sr²⁺ and Ba²⁺ using ion chromatography - Method for water and waste water [Water - Bepaling van opgeloste Li⁺, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mn²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Sr²⁺ en Ba²⁺ met ionchromatografie - Methode voor water en afvalwater]. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nen-en-iso-14911-1999-en-35707>.

NEN-EN 15259:2007 en. Air quality - Measurement of stationary source emissions - Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report [Luchtkwaliteit - Meetmethode emissies van stationaire bronnen - Eisen voor meetvlakken en meetlokaties en voor doelstelling, meetplan en rapportage van de meting]. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nen-en-15259-2007-en-117599>.

NEN-ISO 15923-1:2013 en. Water quality - Determination of selected parameters by discrete analysis systems - Part 1: Ammonium, nitrate, nitrite, chloride, orthophosphate, sulfate and silicate with photometric

detection [Waterkwaliteit - Bepaling van de ionen met een discreet analysesysteem en spectrofotometrische detectie - Deel 1: Ammonium, chloride, nitraat, nitriet, ortho-fosfaat, silicaat en sulfaat]. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nen-iso-15923-1-2013-en-190502>.

NEN-EN-ISO/IEC 17025:2018 nl. Algemene eisen voor de competentie van test- en kalibratielaboratoria. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nen-en-iso-iec-17025-2018-nl-243379>.

NEN-EN-ISO 21877:2019 en. Stationary source emissions - Determination of the mass concentration of ammonia - Manual method [Emissies van stationaire bronnen - Handmatige methode om de massaconcentratie van ammoniak te bepalen]. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nen-en-iso-21877-2019-en-264335>.

NTA 9065-1:2023 nl. Luchtkwaliteit - Geurmetingen - Deel 1: Opzet, uitvoering en rapportage van geuronderzoeken. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nta-9065-1-2023-nl-304514>.

NTA 9065-2:2023 nl. Luchtkwaliteit - Geurmetingen - Deel 2: Monsternamen en analyse. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nta-9065-2-2023-nl-304535>.

NVN-CEN/TS 17660-1:2022 en. Air quality - Performance evaluation of air quality sensor systems - Part 1: Gaseous pollutants in ambient air [Luchtkwaliteit - Prestatiebeoordeling van sensorsystemen voor luchtkwaliteit - Deel 1: Gasvormige verontreinigingen in de buitenlucht]. Online beschikbaar op: <https://www.nen.nl/nvn-cen-ts-17660-1-2022-en-291126>.

Geciteerde literatuur

Aarnink, A.J.A., N.W.M. Ogink. Harmonisatie meetprotocol voor stalemissies van ammoniak, geur en fijn stof in Nederland en Duitsland. Animal Sciences Group / Veehouderij, Rapport 2006-06. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/30884>.

Chambers, J.M., W.S. Cleveland, B. Kleiner, P.A. Tukey (1983). Graphical Methods for Data Analysis. Wadsworth & Brooks/Cole. Pacific Grove (CA), USA.

Feilberg, A., M.J. Hansen, O. Pontoppidan, A. Oxbøl, K. Jonassen, 2018. Relevance of n-butanol as a reference gas for odorants and complex odors. Water Science and Technology 77:1751-1756. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.061>.

Groenestein, C.M., J. Mosquera Losada, N.W.M. Ogink, 2011. Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingsystemen in de veehouderij 2010. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 493. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/179500>.

Hansen, M. J., A.P.S. Adamsen, A. Feilberg, K.E.N. Jonassen. 2011. Stability of odorants from pig production in sampling bags for olfactometry. Journal of Environmental Quality 40:1096-1102. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0497>.

Hansen, M., A. Adamsen, A. Feilberg. 2013. Recovery of odorants from an olfactometer measured by proton-transfer-reaction mass spectrometry. Sensors 13:7860-7861. <https://doi.org/10.3390/s130607860>.

Hansen, M., A. Feilberg, 2022. A protocol for chemical measurement of odor in relation to abatement technologies for animal production – Version 2. Advisory report from DCA – Danish Centre for Food and Agriculture. Department of Biological and Chemical Engineering, Aarhus University. <https://pure.au.dk/portal/en/publications/a-protocol-for-chemical-measurement-of-odour-in-relation-to-abate>.

-
- Hofschreuder, P., Y. Zhao, A.J.A. Aarnink, N.W.M. Ogink, 2008. Measurement protocol for emissions of fine dust from animal houses: considerations, draft protocol. Animal Sciences Group, Wageningen UR, Rapport 134. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/778>.
- Hutchinson, G.L., A.R. Mosier, C.E. Andre, 1982. Ammonia and amine emissions from a large cattle feedlot. J. Environ. Qual. 11:288-293. <https://doi.org/10.2134/jeq1982.00472425001100020028x>.
- Jonassen, K.E.N., P. Pedersen, A.L. Riis, K. Sorensen, 2012. Does the choice of olfactometric laboratory affect the efficiency of odour abatement technologies? Chemical Engineering Transaction 30:43-48. <https://doi.org/10.3303/CET1230008>.
- Kasper, P.L., M. Mannebeck, A. Oxbøl, J.V. Nygaard, M.J. Hansen, A. Feilberg, 2017. Effects of dilution systems in olfactometry on the recovery of typical livestock odorants determined by PTR-MS. Sensors 17:1859. <https://doi.org/10.3390/s17081859>.
- Klarenbeek, J.V., N.W.M. Ogink, H. van der Voet, 2014. Odor measurements according to EN 13725: a statistical analysis of variance components. Atmospheric Environment 86:9-15. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.12.032>.
- Melse, R.W., G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink, 2018a. Evaluatie geurverwijdering door luchtwassystemen bij stallen; Deel 1: Oriënterend onderzoek naar werking gecombineerde luchtwassers en verschillen tussen geurlaboratoria. Wageningen Livestock Research, Rapport 1081. Online beschikbaar op: <https://doi.org/10.18174/441648>.
- Melse, R.W., G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink, 2018b. Evaluatie geurverwijdering door luchtwassystemen bij stallen; Deel 2: Steekproef rendement luchtwassers in de praktijk. Wageningen Livestock Research, Rapport 1082. Online beschikbaar op: <https://doi.org/10.18174/441649>.
- Mol, G., N.W.M. Ogink, 2002. Geuremissies uit de veehouderij II Overzichtsrapportage 2000-2002. Wageningen UR, Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG), Rapport 2002-09. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/280063>.
- Mosquera Losada, J., C.M. Groenestein, N.W.M. Ogink, 2011. Protocol voor meting van lachgasemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 494. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/179501>.
- Mosquera Losada J., C.M. Groenestein, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink, 2012. Evaluation of the CO2 mass balance method to calculate ventilation rates from mechanically ventilated livestock buildings. Ninth International Livestock Environment Symposium, Valencia Spain 8-12 July 2012.
- Mosquera, J., J.P.M. Ploegaert, G.C.C. Kupers, 2019. Determination of ammonia concentrations in air from livestock housing systems: Reference method using gas washing as applied by Wageningen Livestock Research. Wageningen Livestock Research, Report 1187. Online beschikbaar op: <https://doi.org/10.18174/500006>.
- Mosquera, J., J.P.M. Ploegaert, G.C.C. Kupers, 2020. Determination of carbon dioxide concentrations in air from livestock housing systems: reference method using the lung method as applied by Wageningen Livestock Research. Online beschikbaar op: <https://doi.org/10.18174/536449>.
- Ogink, N.W.M., 2011. Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 491. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/179498>.
- Ogink, N.W.M., C.M. Groenestein, J. Mosquera, 2014. Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 744. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/294436>.

Ogink, N.W.M., P. Hofschreuder, A.J.A. Aarnink, 2011. Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 492. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/179499>.

Ogink, N.W.M., P.N. Lens, 2001. Geuremissies uit de veehouderij. Overzichtsrapportage 1996-1999. Wageningen UR, Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG), Rapport 2001-14. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/280066>.

Ogink, N.W.M., G. Mol, 2002. Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij. Wageningen UR, Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG), Nota 2002-57.

Ogink, N.W.M., J. Mosquera, J.M.G. Hol, 2011. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Wageningen Livestock Research, Rapport 454. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/166551>.

Ogink, N.W.M., J. Mosquera, J.M.G. Hol, 2013. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013. Wageningen Livestock Research, Rapport 726. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/279966>.

Ogink, N.W.M., J. Mosquera, J.M.G. Hol, 2017. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a. Wageningen Livestock Research, Rapport 1032. Online beschikbaar op: <http://dx.doi.org/10.18174/418425>.

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. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1205>.

Schade, G.W., P.J. Crutzen. 1995. Emission of aliphatic amines from animal husbandry and their reactions: potential source of N₂O and HCN. Journal of Atmospheric Chemistry 22, 319-346. <https://doi.org/10.1007/BF00696641>.

Schep, C.A., J. Vonk, T. Rijkers, 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 emissie monitoring in de melkveehouderij. Wageningen Livestock Research, Rapport 1456. Online beschikbaar op: <https://doi.org/10.18174/641807>.

VERA, 2018a. VERA Test protocol for livestock housing and management systems. Version 3:2018-09. Online beschikbaar op: <https://www.vera-verification.eu/test-protocols/>.

VERA, 2018b. VERA Test protocol for air cleaning technologies. Version 2:2018-09. Online beschikbaar op: <https://www.vera-verification.eu/test-protocols/>.

Vonk, J., D. van Dinther, J. Mosquera, 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. Online beschikbaar op: <https://doi.org/10.18174/536495>.

VROM, 1993. Beoordelingsrichtlijn emissiearme stallen. Den Haag: Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Werkgroep Emissiefactoren, 1995. Meetprotocol voor geuremissies uit stallen. Den Haag, Ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie.

Winkel, A. Particulate matter emission from livestock houses: measurement methods, emission levels and abatement systems. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen. Online beschikbaar op: <http://dx.doi.org/10.18174/390454>.

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.

