



Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen (versie 2)

Guidelines for determination of emissions from livestock barns (version 2)

Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij

Rapport 1525

Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen (versie 2)

Guidelines for determination of emissions from livestock barns (version 2)

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) met financiering van het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Wageningen Livestock Research
Wageningen, november 2024

Rapport 1525

Synopsis

Dit 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, een basis voor een vergunning of (onderdeel van) een norm.

Abstract

This 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 knowledge institutions. 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 bodies. By prescribing this, the application of this document becomes a protocol, a basis for a permit, or (part of a) standard.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/678752> 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.

Voorwoord versie 2

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 met financiering van het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, 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 kennisinstellingen 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 erkenning van huisvestingssystemen, staltechnieken en managementmaatregelen), C (gericht op emissiemonitoring 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.

In de eerste versie van januari 2024 zijn delen A, C en D opgezet. In deze tweede versie van november 2024 zijn de landbouwkundige randvoorwaarden in Bijlage A1 geactualiseerd en zijn delen A en C aangevuld en bijgesteld, o.a. op basis van een uitgebreide feedbackronde door een tiental partijen (zie ook de bijlage "Versiebeheer" achterin dit rapport).

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 emissiemonitoring; projectleider Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij 2023-2024

Inhoud

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
1.5.1	Aanbevelingen en verplichtingen	12
1.5.2	Emissies versus emissiefactoren	12
1.5.3	Rapport versus protocol	12
1.5.4	Meetprotocol versus meetplan	12
1.5.5	Veiligheid	12
1.5.6	Fraudebescherming	13
2	Betekenis van afkortingen en begrippen	14
2.1	Betekenis van afkortingen	14
2.2	Betekenis van begrippen	15
	DEEL A: bepalen van emissies van huisvestingssystemen, staltechnieken en managementmaatregelen in het kader van een algemene erkenning	17
A1	Inleiding	18
A1.1	Context	18
A1.2	Doel	18
A2	Organisatorische aspecten	19
A2.1	Ontwikkelfase en definitieve fase	19
A2.2	Actoren en verantwoordelijkheden	19
A2.3	Eisen aan de meetinstantie (tijdelijke paragraaf)	20
A2.4	Conformiteit regelgeving diergezondheid, dierwelzijn en veiligheid	21
A2.5	Meetplan	21
A3	Beschrijving onderzoekslocatie en te onderzoeken interventie	22
A3.1	Beschrijving veehouderij/onderzoekslocatie	22
A3.2	Beschrijving te onderzoeken interventie	23
A4	Proefopzetten en onderzoekslocaties	25
A4.1	Uitgangspunten	25
A4.2	Beschrijving van de proefopzetten en hun criteria	25
A4.2.1	Proefopzet 1a. Case-control met identieke proefeenheden en wisseling van interventie over proefeenheden	25
A4.2.2	Proefopzet 1b. Case-control met identieke proefeenheden zonder wisseling van interventie over proefeenheden	28
A4.2.3	Proefopzet 2. Case-control met niet-identieke proefeenheden en wisseling van interventie over proefeenheden	28
A4.2.4	Proefopzet 3. Case-control in de tijd, binnen dezelfde stal	29
A4.2.5	Proefopzet 4. Multi-bedrijfslocatie design	29
A4.3	Aantonen gelijkwaardigheid proefeenheden	30
A4.4	Aantallen veehouderijen/onderzoekslocaties	31
A4.4.1	Bemeetbaarheid van meetlocatie	34
A4.4.2	Representativiteit van meetlocatie en landbouwkundige randvoorwaarden	35

A5	Meetstrategie	36
	A5.1 Uitgangspunten	36
	A5.2 Continue metingen	36
	A5.3 Discontinue metingen	36
	A5.4 Meetposities	38
	A5.4.1 Uitgangspunten	38
	A5.4.2 Beschouwing van de meetsituatie	38
	A5.4.3 Meetposities voor CO ₂ en emitterende stoffen in natuurlijk geventileerde stallen met luchtuitlaat via een open nok	39
	A5.4.4 Meetposities voor CO ₂ en emitterende stoffen in mechanisch geventileerde stallen	39
	A5.4.5 Meetposities voor CO ₂ en emitterende stoffen in de ingaande lucht	40
A6	Meetmethoden ventilatiedebiet	41
	A6.1 Mechanisch versus natuurlijk geventileerde stallen	41
	A6.2 Meetventilatoren op werkventilatoren zonder registratie	41
	A6.3 Werkventilatoren met registratie	42
	A6.4 Tracergas ratiomethode	42
	A6.4.1 Natuurlijk tracergas: bepaling van de CO ₂ -productie van de dieren en hun mest	43
	A6.4.2 Natuurlijk tracergas: bepaling van de CO ₂ -productie van mest-/stro(oisel)laag met de statische fluxkamer methode	43
	A6.4.3 Kunstmatig tracergas	44
A7	Meetmethoden luchtconcentraties	46
	A7.1 Uitgangspunten	46
	A7.2 Ammoniak (NH ₃)	46
	A7.3 Geur	47
	A7.4 Methaan (CH ₄), lachgas (N ₂ O) en koolstofdioxide (CO ₂)	50
	A7.5 Fijnstof (PM ₁₀ en PM _{2,5})	52
	A7.6 Bioaerosolen	53
A8	Dataverwerking en -analyse	55
	A8.1 Controle op volledigheid, kwaliteit en consistentie	55
	A8.2 Data-inclusie, data-exclusie en data-aggregatie	55
	A8.3 Berekening emissie bij proefopzetten 1a, 1b, 2 en 3	56
	A8.4 Berekening emissie bij proefopzet 4	57
	A8.5 Afwijkende berekening emissies bij dieren met exponentieel emissiepatroon en discontinue meting	59
	A8.6 Standaardisatie ammoniakemissies melkkoeien	59
	A8.7 Statistische evaluatie emissie-effect interventie	60
	A8.8 Bepaling meetonzekerheid	61
A9	Rapportage	62
	Bijlage A1: Landbouwkundige randvoorwaarden	64
	Bijlage A2: rekenregels ten behoeve van de natuurlijke tracergas ratiomethode	74
	Bijlage A3: voorbeeldberekening uitgebreide meetonzekerheid natchemische bepaling van ammoniak	77
	DEEL B: bepalen van het verwijderingsrendement van nageschakelde luchtreinigingstechnieken in het kader van een algemene erkenning	80
B1	Inleiding	81
	DEEL C: bepalen van emissies bij emissie monitoring in het kader van doelsturing	82
C1	Inleiding	83

	C1.1 Context	83
	C1.2 Doel	83
	C1.3 Overeenkomsten en verschillen delen A/B vs. C	83
	C1.4 Afbakening huidige inzetbaarheid	84
C2	Organisatorische aspecten	86
	C2.1 Actoren en verantwoordelijkheden	86
	C2.2 Meetplan bij een doelvoorschriftvergunning	86
	C2.3 Rapportage monitoringsresultaat aan bevoegd gezag	87
C3	Meetstrategie	88
	C3.1 Uitgangspunten	88
	C3.2 Bemeetbaarheid van het stalgebouw	88
	C3.3 Meetposities emissies uit stalgebouw	88
	C3.4 Meetposities emissies uit nageschakelde luchtreinigingstechnieken	88
C4	Meetmethoden ventilatiedebiet	90
	C4.1 Methoden	90
	C4.2 Kwaliteitsborging	90
C5	Meetmethoden luchtconcentraties	91
	C5.1 Continue meetsystemen	91
	C5.2 Standaard referentiemethoden	91
	C5.3 Kwaliteitsborging luchtconcentratiemetingen	91
C6	Dataverwerking en -analyse	92
	C6.1 Controle op volledigheid, kwaliteit en consistentie	92
	C6.2 Data-inclusie, data-exclusie en data-aggregatie	92
	C6.3 Berekening ammoniakemissie	92
	C6.4 Schatting emissies perioden zonder meetdata tot en met 7 aaneengesloten dagen	93
	C6.5 Schatting emissies perioden zonder meetdata van 8 aangesloten dagen en langer	93
	DEEL D: ontwikkeling en validatie van (sensor)meetsystemen voor continue meting van gasconcentraties	95
D1	Inleiding	96
	D1.1 Doelstelling	96
	D1.2 Afbakening	96
	D1.3 Aanpak en indeling	96
D2	Beschrijving van het toepassingsgebied	98
D3	Laboratoriumtests	100
	D3.1 Initiële labtest	100
	D3.1.1 Responstijd	100
	D3.1.2 Kalibratie	101
	D3.1.3 Herhaalbaarheid, instrument-herhaalbaarheid en detectielimiet	101
	D3.2 Aanvullende labtesten	102
	D3.2.1 Drukeffect	102
	D3.2.2 Temperatuur- of vochtgevoeligheid, stoorcomponenten	102
	D3.3 Uitgebreide meetonzekerheid	103
D4	Veldtest – validatie onder praktijkomstandigheden	104
	D4.1 Opzet en randvoorwaarden voor uitvoering	104
	D4.2 Beoordeling van gelijkwaardigheid methodes en inzetbaarheid voor bedrijfsmonitoring	105
D5	Installatie en onderhoud	107

D5.1	Kalibratie vooraf	107
D5.2	Installatie/oplevering	107
D5.3	Gebruik	107
D5.4	Onderhoud	108
D6	Conclusies en aanbevelingen	109
Bijlage D1: rekenvoorbeeld beoordeling gelijkwaardigheid meetmethode		110
DEEL E: ontwikkeling en validatie van sensormeetsystemen voor continue meting van stofconcentraties		117
E1	Inleiding	118
DEEL F: ontwikkeling en validatie van sensormeetsystemen voor continue meting van geurconcentraties		119
F1	Inleiding	120
Bronnenlijst		121
Versiebeheer rapport		126

1 Inleiding

1.1 Ontstaansgeschiedenis richtlijnen en protocollen in Nederland

Op veehouderijbedrijven kunnen emissies optreden van onder meer geurhoudende verbindingen (kortweg: 'geur'), ammoniak (NH_3), methaan (CH_4), lachgas (N_2O), fijnstof (PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$) en bioaerosolen. In Nederland worden sinds de jaren negentig emissiefactoren van huisvestingssystemen, 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.

Na aanvang van het onderzoek naar de ammoniakemissie uit stallen in Nederland rond 1988 werd duidelijk dat het meten van de ammoniakemissie uit stallen een ingewikkelde materie was. Diverse instituten en bedrijven ontwikkelden verschillende meetmethoden. In overleg met het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, en het bedrijfsleven werd door de toenmalige Dienst Landbouwkundig Onderzoek een werkgroep 'Meetmethoden ammoniakemissiearme stallen' ingesteld. Deze werkgroep publiceerde in april 1993 het rapport 'Meetmethoden NH_3 -emissie uit stallen' (Van Ouwkerk et al, 1993). In het rapport werd de toenmalige kennis over monstername van stallucht en meetmethoden van ammoniak op een rij gezet.

Eveneens 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 vermijding van geurhinder is tussen 1996 en 2003 in opdracht van de Ministeries van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV) 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 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 multinationalaal 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 op correcte wijze kunnen worden bepaald op basis van de actuele stand van wetenschappelijke kennis. Het document is opgesteld met financiering van de Ministeries van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) en Infrastructuur en Waterstaat (IenW), en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

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 emissiemonitoring 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 moet 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 eerste versie (januari 2024) zijn delen A, C en D opgesteld. In de onderhavige (tweede) versie (november 2024) zijn delen A en C verbeterd en uitgebreid (zie par. 1.6). 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 beginnend met de letter (A, B, C, D, E en F) van het betreffende deel. Bij verwijzingen naar hoofdstukken en paragrafen wordt de letter steeds vermeld, ook wanneer dit binnen hetzelfde deel is.

1.5 Aard en toepassing

Dit document is een rapport dat beschrijft hoe emissies van luchtverontreinigende stoffen en broeikasgassen uit stalgebouwen op correcte wijze kunnen worden bepaald op basis van de actuele stand van wetenschappelijke kennis. Dit rapport richt zich op emissies uit (onderdelen van) het stalgebouw. Andere onderdelen van veehouderijbedrijven, zoals mestopslagen, mestbewerkingsinstallaties en percelen, vallen buiten de scope van dit rapport. Ook enterische emissies op dierniveau zoals bijvoorbeeld gemeten met meetapparatuur in voerbakken of gasuitwisselingskamers vallen buiten de scope van dit rapport.

1.5.1 Aanbevelingen en verplichtingen

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.

1.5.2 Emissies versus emissiefactoren

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 grootheid dat door onderzoekinstellingen of meetinstanties kan worden *bepaald*. Opzettelijk spreekt dit document niet van emissiefactoren. Een emissiefactor is een juridische grootheid die door 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).

1.5.3 Wetenschappelijk rapport versus protocol, vergunning en norm

Dit document is naar zijn aard een **wetenschappelijk rapport** opgesteld door 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**, basis voor een **vergunning** of (onderdeel van) een **norm**.

1.5.4 Meetprotocol versus meetplan

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.

1.5.5 Veiligheid

Het meten van emissies op veehouderijbedrijven kan potentieel gevaarlijke situaties met zich meebrengen. Denk bijvoorbeeld aan:

- verwonding en verdrukking door bewegingen van dieren;
- bijtincidenten met boerderijhonden;
- valgevaar bij het werken met ladders of hoogwerkers, of bij kelders en putten;
- uitglijden bij gladde oppervlakken, zoals met mest besmeurde of natte (beton)vloeren;
- blootstelling aan en risico's ten aanzien van (mest)gassen, stof, bioaerosolen en micro-organismen;
- risico's ten aanzien van grote landbouwvoertuigen;
- risico's ten aanzien van elektriciteit (schokken, overbelasting, kortsluiting);
- brandgevaar en beperkte mogelijkheden voor vluchtroutes.

Het thema veiligheid valt buiten de scope van dit rapport. Het moet in de organisatie en uitvoering van metingen belegd worden. We volstaan hier met te noemen dat het van groot belang is op elk veehouderijbedrijf risico's in kaart te brengen en afdoende veiligheidsmaatregelen te nemen.

1.5.6 Fraudebescherming

Het thema fraudebescherming valt buiten de scope van dit rapport.

2 Betekenis van afkortingen en begrippen

2.1 Betekenis van afkortingen

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

Afkorting	Betekenis
95%-BI	95%-betrouwbaarheidsinterval
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
E	Emissie
EM	Equivalentente methode
GC	Gaschromatograaf
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
LVVN	Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur
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
PE	Polyethyleen
PM	Particulate matter
PM ₁₀₀	Inhaleerbaar stof
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

Afkorting	Betekenis
VERA	Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production
VROM	Voormalige 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 / eindcompartiment	Afgesloten afdeling (compartiment) 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
Equivalent Methode (EM)	Meetmethode waarvan voor een zeker toepassingsgebied aangetoond is dat deze (eventueel na correctie) gelijkwaardige resultaten geeft aan de Standaard Referentie Methode
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)
Managementmaatregel	Emissieverlagende maatregel die te maken heeft met de bedrijfsvoering in plaats van de (technische) bedrijfsuitrusting (waaronder ruwbouw, huisvestingssysteem, staltechniek of nageschakelde luchtreinigingstechniek). Managementmaatregelen liggen bijvoorbeeld in het domein van voeding, klimaat, ventilatie, hygiëne, mest en fokkerij.
Meetventilator	Instrument voor het bepalen van de hoeveelheid lucht die door (een deel van) een mechanisch geventileerd stalgebouw gevoerd wordt, zie ook werkventilator
Nageschakelde luchtreinigingstechniek	Een techniek die 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.
Proefeenheid	Fysiek object waaruit de emissie optreedt, waarin de interventie(s) en controle(s) worden toegepast en waartussen deze worden vergeleken. Doorgaans: afdelingen binnen een stal of stallen binnen een bedrijf.
Stalgebouw	De ruwbouw van de stal waaronder gevels en dak. In het stalgebouw wordt een huisvestingssysteem toegepast

Begrip	Betekenis
Staltechniek	Een techniek dat, aanvullend aan het stalgebouw en het huisvestingssysteem, toegepast wordt om emissies te verlagen
Standaard Referentie Methode (SRM)	In een norm verankerde of daarvan afgeleide meetmethode, waarmee component in kwestie zo zuiver mogelijk gemeten kan worden en welke dient om andere, continu metende (sensor)systemen te valideren/corrigeren (zie ook: Equivalente Methode)
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 / tussencompartiment	Afgesloten afdeling (compartiment) 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
Ventilatie-debiet	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

November 2024

Auteurs

In alfabetische volgorde van achternaam

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

A1 Inleiding

A1.1 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. Deel A richt zich op algemene erkenningen van huisvestingssystemen, staltechnieken en managementmaatregelen. Deel B richt zich op algemene erkenningen van nageschakelde luchtreinigingstechnieken.

A1.2 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.

A2 Organisatorische aspecten

A2.1 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 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 bevuilding te bereiken, en te voorkomen dat het reguliere emissieproces beïnvloed wordt door het eventuele uitreageren van gebruikte materialen.

A2.2 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 voor regulier onderhoud en het verhelpen van storingen of calamiteiten. De producent meldt deze bezoeken, voorafgaand aan het bezoek, aan de meetinstantie. De producent vult bij ieder bezoek het bezoekerslogboek in dat aanwezig is op de meetlocatie.

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 aanleggen van een bezoekerslogboek op de meetlocatie en het archiveren van het bezoekerslogboek;
- het uitvoeren van het onderzoek (metingen, datacontrole, -verwerking en -analyse, rapportage);
- het opstellen, controleren en eventueel aanvullen van het door de veehouderij/onderzoekslocatie bijgehouden technisch 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 door de meetinstantie;
- 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 technisch 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.

A2.3 Eisen aan de meetinstantie (tijdelijke paragraaf)

Op dit moment wordt door de Rijksoverheid onderzocht op welke manier emissiemetingen in de veehouderij 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 inachtneming van de richtlijnen in het onderhavige rapport, en beschikken over kennis van de veehouderij en het meten van emissies in die sector.

Voorwaarde B: beschikken over een Vlaamse VLAREL erkenning, inachtneming van de richtlijnen in het onderhavige rapport, 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.
- De meetinstantie heeft geen belangen of conflicten die strijdig zijn met objectiviteit en onafhankelijkheid van het meetonderzoek.
- 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 moeten per gemeten component of variabele worden bepaald:
 - juistheid;
 - detectielimiet;
 - bereik waarin correcte meting gegarandeerd kan worden;
 - meetonzekerheid.

De bijkomende minimale vereisten voor de monsternamen en analyse worden per gemeten component vermeld in hoofdstuk A7.

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

A2.4 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.

A2.5 Meetplan

De aard van een meetplan en het verschil met een meetprotocol is omschreven in paragraaf 2.1.4. 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

De behandeling van een dossier, indien uitgevoerd volgens een door WeComV goedgekeurd meetplan, richt zich dan op de beoordeling van de meetresultaten. Indien er geen meetplan ingediend wordt, maakt de beoordeling van de gevolgde methoden ook onderdeel uit van de evaluatie van het dossier.

Na goedkeuring van het meetplan door het WeComV moeten de metingen binnen het jaar worden aangevat. Verdere instructies m.b.t. de aanvraag voor de goedkeuring van een meetplan en bijhorende documenten zijn te vinden op de VLM-website: Emissiereducerende maatregelen voor de veeteelt | Vlaamse Landmaatschappij (vlm.be).

Het melden van de meetdagen is verplicht zoals bepaald in het Ministerieel besluit van 16 juli 2021¹ (Art. 2.6.) en volgens de voorwaarden zoals hierin omschreven:

- indien er geen exacte data in het meetplan zijn vermeld, dan moet deze melding gebeuren aan het administratief team, uiterlijk drie werkdagen voordat de eerste meting van de betreffende meetperiode uitgevoerd wordt;
- indien een geplande meting uitzonderlijk niet kan doorgaan, wordt dit zo snel mogelijk, en uiterlijk dezelfde dag gemeld (met vermelding van eventuele alternatieve data waarop er gemeten zal worden);
- meldingen aan het administratief team kunnen via mail: at.luchtemissiesveeteelt@vlm.be.

Hoe omgegaan moet worden met niet gelukte metingen wordt omschreven in hoofdstuk A8 Dataverwerking en -analyse.

¹ Ministerieel besluit tot wijziging van bijlage I en bijlage II van het ministerieel besluit van 19 maart 2004 houdende vaststelling van de lijst van ammoniakemissiearme stalsystemen in uitvoering van artikel 1.1.2 en artikel 5.9.2.1bis van het besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne, wat betreft de melding van de ingebruikname van een stalstelsel, het stelsel P-6.4, de voorwaarden voor luchtzuiveringssystemen en de aanvraagprocedure voor opname in de lijst van ammoniakemissiearme stalsystemen.

A3 Beschrijving onderzoekslocatie en te onderzoeken interventie

A3.1 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
- OW- (voorheen 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 leeftijdstraject

Bedrijfsinrichting/installaties

- Beschrijving huisvestingssysteem, inclusief uitvoering van hokken, vloeren, ligplaatsen, enzovoort
- Plattegrond van het stalgebouw/dierenverblijf
- Beschrijving wijze van mestverwijdering
- Beschrijving voersysteem
- Beschrijving drinksysteem
- 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, aanschuiptijden
- 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 (tekening) met de ligging van bedrijfsgebouwen en hun functie. De tekening bevat tevens voer- en mestopslagen, locaties van eventuele mestbe- of -verwerkingsstappen en mogelijke stoorbronnen
- Foto's

Er worden in openbare rapportages geen visualisaties opgenomen waarop elementen te zien zijn die informatie bevatten over de identiteit van de veehouderij/onderzoekslocatie, zoals: personen, oormerknummers, kentekenplaten van voertuigen, bedrijfsaanzichten of niet-relevante omgevingskenmerken buiten de bedrijfslocatie.

A3.2 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 (wettelijke) toegelatenheid van de interventie (bijvoorbeeld in het geval van een voederadditief);
 - 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 na-ijleffecten 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.

A4 Proefopzetten en onderzoekslocaties

A4.1 Uitgangspunten

De proefopzet 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 proefopzetten staan weergegeven in Figuur A1. Het uitgangspunt is dat er een proefopzet 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 proefopzet 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.

A4.2 Beschrijving van de proefopzetten en hun criteria

A4.2.1 Proefopzet 1a. Case-control met identieke proefeenheden en wisseling van interventie over proefeenheden

Proefopzet 1a heeft de hoogste mate van zuiverheid. Er wordt een interventie toegepast in een case-afdeling binnen een stal (Fig. A1, links) of in een case-stal binnen een bedrijf (Fig. 4A1, rechts). Een (vrijwel) identieke proefeenheid, dat wil zeggen afdeling of stal maar zonder de interventie, dient als control. Case en control worden gelijktijdig bemeten. 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 en soms in vleeskalverstallen. De situatie van identieke stallen binnen een bedrijf komt geregeld voor bij vleeskuikenbedrijven (waar geregeld meerdere vleeskuikenstallen aanwezig zijn die gelijktijdig zijn gebouwd en waar via het all-in-all-out principe dieren van gelijke leeftijd aanwezig kunnen zijn) en soms bij vleeskalverbedrijven. Proefbedrijven bieden eveneens vaak goede mogelijkheden tot het uitvoeren van case-controlonderzoek in de verschillende diercategorieën. Identieke proefeenheden komen zeer weinig voor op melkveebedrijven en melkgeitenbedrijven. Bij leghennenbedrijven komen bedrijven voor met identieke stallen binnen een bedrijf, maar veelal wordt er dan gewerkt met verschillende leeftijden van de hennen (geen all-in-all-out principe) zodat er toch geen sprake is van identieke proefeenheden. Etages in een leghennenstal kunnen, ook bij gelijke leeftijd en ras van de dieren, niet zondermeer gezien worden als identieke proefeenheden omdat het volume (vlak plafond/verdiepingsvloer versus een zadeldak voor de bovenste etage), het stalklimaat, het luchtstromingsprofiel en de strooiselkwaliteit van de benedenetages en de bovenetages doorgaans verschillend zijn.

Het identiek zijn betreft alle aspecten van de afdeling of stal, zoals de ruwbouw inclusief thermische isolatie en daglichttoetreding, het huisvestingssysteem, de inrichting/installaties, de dieren (ras, leeftijd, voorgeschiedenis), het voeder (wijze en frequentie van voeren, hoeveelheid en samenstelling van voer) en het bedrijfsmanagement (zie voor een lijst van meer aspecten: hoofdstuk A3.1). In de situatie van identieke afdelingen binnen een stal voor varkens, pluimvee of kalveren mogen geen tussenafdeling en eindafdeling

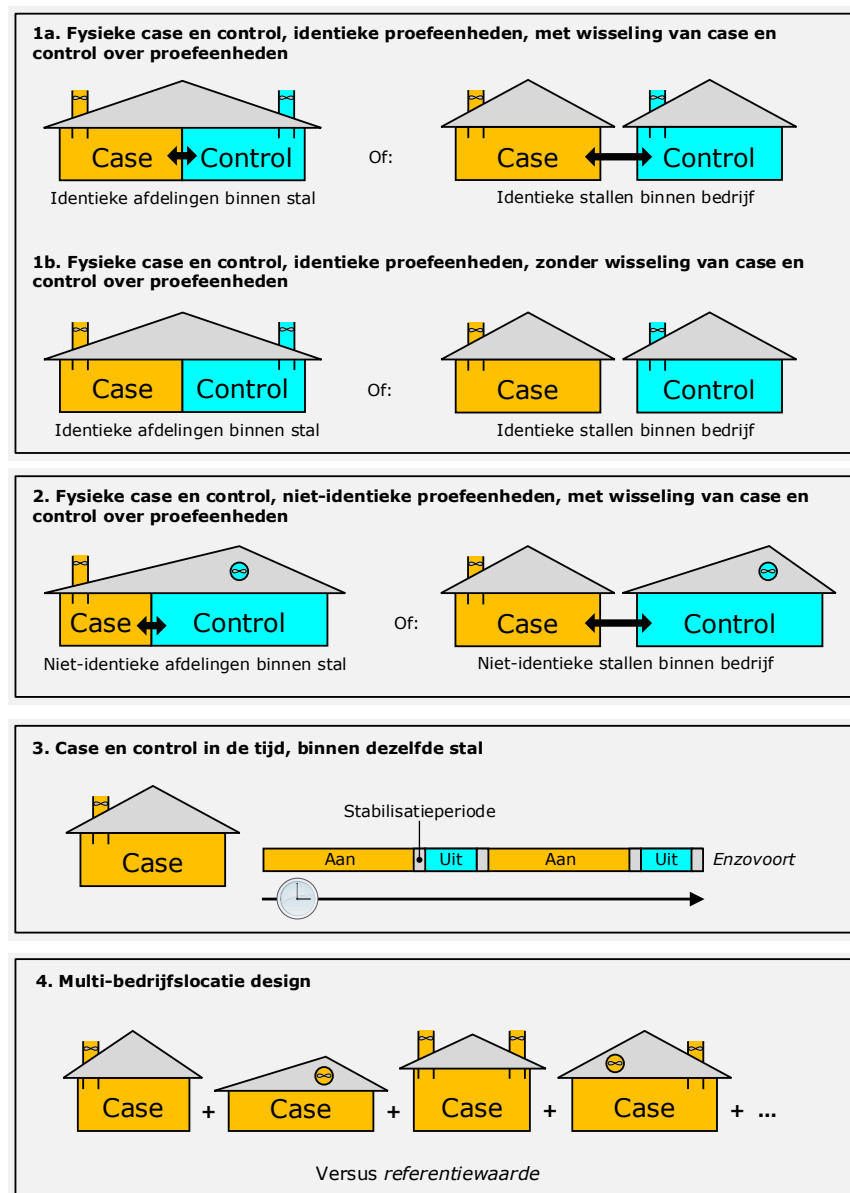
met elkaar worden vergeleken. Afdelingen of stallen worden als identiek beschouwd wanneer er sprake is van verschillen tussen die afdelingen of stallen kleiner dan 5% op elk van de aspecten:

- het aantal dieren;
- het gemiddelde diergewicht;
- de aangeboden hoeveelheid en samenstelling van het voer;
- de geïnstalleerde ventilatiecapaciteit;

tenzij één van deze aspecten onderdeel is van de interventie. Het identiek zijn van proefeenheden moet aangetoond worden in het meetplan.

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 huisvestingssysteem toegepast dat een emissiefactor heeft op basis van metingen volgens een meetprotocol van 2011 of recenter (zie par. 1.1) waarbij metingen zijn verricht op tenminste twee bedrijfslocaties bij een case-control proefopzet of op tenminste vier bedrijfslocaties bij een multi-bedrijfslocatie proefopzet. Hieruit volgt dat huisvestingssystemen met emissiefactoren op basis van metingen aan één bedrijfslocatie (bijvoorbeeld volgens het Groen Label protocol) niet toegestaan zijn als control. Ook huisvestingssystemen met een afgeleide emissiefactor zijn niet toegestaan als control. Mocht er een situatie voorkomen waarbij de wens bestaat om metingen te verrichten in een case-control proefopzet bij een diercategorie met alleen huisvestingssystemen met 'Groen label' en/of afgeleide emissiefactoren, dan zijn er twee opties mogelijk: a) de minimaal 2 case-control locaties worden uitgebreid met minimaal een derde en vierde locatie die observationeel (volgens proefopzet 4) bemeten worden om samen met de twee control proefeenheden een emissiefactor (o.b.v. minimaal 4 locaties) te geven; of b) er wordt in deze situatie toch gekozen voor proefopzet 4.



Figuur A1 Schematisch overzicht van de binnen deel A onderscheiden proefopzetten.

A4.2.2 Proefopzet 1b. Case-control met identieke proefeenheden zonder wisseling van interventie over proefeenheden

Proefopzet 1b heeft een goede mate van zuiverheid. Proefopzet 1b is gelijk aan 1a behalve dat de toepassing van de interventie niet wordt gewisseld over de proefeenheden omdat dit technisch onmogelijk of zeer duur is. Dit betekent dat in proefopzet 1b versturende effecten van afdelingen of stallen de resultaten kunnen vertekenen.

In de uitgangssituatie/als control wordt een huisvestingssysteem toegepast dat een emissiefactor heeft op basis van metingen volgens een meetprotocol van 2011 of recenter (zie par. 1.1) waarbij metingen zijn verricht op tenminste twee bedrijfslocaties bij een case-control proefopzet of op tenminste vier bedrijfslocaties bij een multi-bedrijfslocatie proefopzet. Hieruit volgt dat huisvestingssystemen met emissiefactoren op basis van metingen aan één bedrijfslocatie (bijvoorbeeld volgens het Groen Label protocol) niet toegestaan zijn als control. Ook huisvestingssystemen met een afgeleide emissiefactor zijn niet toegestaan als control. Bij toepassing van deze proefopzet is het aantonen van gelijkwaardigheid tussen proefeenheden verplicht, zie hiervoor paragraaf A4.3.

A4.2.3 Proefopzet 2. Case-control met niet-identieke proefeenheden en wisseling van interventie over proefeenheden

Proefopzet 2 heeft een goede mate van zuiverheid. Proefopzet 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 kunnen zijn én niet of niet eenvoudig identiek gemaakt kunnen worden, betreffen bijvoorbeeld:

- de grootte van de stal in termen van oppervlak (m^2) en inhoud (m^3);
- de mate van thermische isolatie van het stalgebouw;
- het totale aantal dieren in de stal;
- het huisvestingssysteem;
- de installaties in de stal;
- het ventilatiesysteem, inclusief aantal, grootte, aard en posities van luchtinlaten
- beïnvloeding door eventueel aanwezige stoorbronnen zoals nabij gelegen emissiebronnen of objecten die windstromingsprofielen en de natuurlijke ventilatie kunnen beïnvloeden.

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;
- het aantal dieren per m^2 vloeroppervlak en leefoppervlak (gangbaar bij pluimvee) of het aantal m^2 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 deze proefopzet moeten de proefeenheden zo veel mogelijk vergelijkbaar gemaakt worden. De gelijkwaardigheid 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 een huisvestingssysteem toegepast dat een emissiefactor heeft op basis van metingen volgens een meetprotocol van 2011 of recenter (zie par. 1.1) waarbij metingen zijn verricht op tenminste twee bedrijfslocaties bij een case-control proefopzet of op tenminste vier bedrijfslocaties bij een multi-bedrijfslocatie proefopzet. Hieruit volgt dat huisvestingssystemen met emissiefactoren op basis van metingen aan één bedrijfslocatie (bijvoorbeeld volgens het Groen Label protocol) niet toegestaan zijn als control. Ook huisvestingssystemen met een afgeleide emissiefactor zijn niet toegestaan als control. Bij toepassing van deze proefopzet is vervolgens het aantonen van gelijkwaardigheid 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. Zie voor het aantal veehouderijen/onderzoekslocaties per (combinatie van) proefopzet(ten) paragraaf A4.4.

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 verstorende effecten van afdelingen of stallen de resultaten sterk kunnen vertekenen en verder niet of nauwelijks te kwantificeren zijn.

A4.2.4 Proefopzet 3. Case-control in de tijd, binnen dezelfde stal

Proefopzet 3 heeft een goede mate van zuiverheid. Er wordt een interventie toegepast in een afdeling of stal. Deze interventie is daarin continu 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. **Deze proefopzet 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. Zie voor het aantal veehouderijen/onderzoekslocaties per (combinatie van) proefopzet(ten) paragraaf A4.4.

A4.2.5 Proefopzet 4. Multi-bedrijfslocatie design

Proefopzet 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. Zie voor het aantal veehouderijen/onderzoekslocaties per (combinatie van) proefopzet(ten) paragraaf A4.4.

A4.3 Aantonen gelijkwaardigheid proefeenheden

Bij toepassing van proefopzet 1a wordt aanbevolen, en bij proefopzetten 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. Wanneer de gelijkwaardigheid van proefeenheden éénmaal is aangetoond, hoeft dit bij volgende meetcampagnes in deze proefeenheden niet herhaald te worden, mits de proefeenheden ongewijzigd zijn gebleven. 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 betekent dit dat deze volledig in beschouwing worden genomen. Continu moeten worden gemeten: temperatuur en relatieve luchtvochtigheid, het ventilatiedebiet en de luchtconcentratie van CO₂. Als ammoniak, methaan of lachgas een component van interesse is, wordt ook dat gas continu gemeten. Als fijnstof of geur een component van interesse is wordt de vergelijkbaarheid beoordeeld op basis van de vier basisvariabelen (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, ventilatiedebiet en CO₂-concentratie) omdat voor fijnstof en geur er geen afdoende continue meetsystemen voor stallen bestaan. Continue meting van de gassen vinden plaats met een meetsysteem dat voldoet aan de criteria zoals beschreven in deel D van dit rapport. De continue metingen van de gassen tijdens de vergelijkende meetperiode worden gevalideerd aan de hand van drie over de meetperiode gespreide discontinue metingen met de van toepassing zijnde Standaard Referentie Methode (SRM) zoals beschreven in hoofdstuk A7. Ventilatiedebieten worden gemeten zoals beschreven in hoofdstuk A6. Emissies worden berekend zoals beschreven in hoofdstuk A8.

De temperatuur, de relatieve luchtvochtigheid, het ventilatiedebiet, de CO₂-concentratie, de emissies van ammoniak, methaan en/of lachgas, en de ratio's tussen CO₂ en elk van de overige gassen worden geaggregeerd tot gemiddelden op weekniveau (dat wil zeggen: 26 waarden over zes maanden). Tenminste 21 van de 26 weken moeten een valide weekgemiddelde hebben opgeleverd. Een weekgemiddelde moet gebaseerd zijn op minimaal 6 dagen met valide meetdata. Een daggemiddelde moet gebaseerd zijn op tenminste 19 van de 24 uren met valide meetdata. Een uurgemiddelde, tenslotte, moet bestaan uit tenminste één valide waarneming over een deel van het volledige uur.

Vervolgens worden de absolute verschillen in de genoemde variabelen, als weekgemiddelden, tussen de proefeenheden berekend. De basis voor statistische toetsing zijn deze absolute verschillen op weekniveau. Variabelen met een middelingsniveau van een week zijn (in tegenstelling tot uur- en dagwaarden) redelijk onafhankelijke waarnemingen die na een halfjaar (bij $n=26$) met voldoende power kunnen worden getoetst. Het gebruiken van variabelen op uur- of dagniveau zou veel autocorrelatie met zich meebrengen. Het aantal waarnemingen in de toetsing zou dan een te optimistische power geven. Aan de hand van een t -toets op de absolute verschillen moet worden getoetst of het gemiddelde verschil statistisch significant afwijkt van de waarde nul waarbij een significantiegrens van $\alpha=0,05$ wordt toegepast. Wanneer de P -waarde van de toets lager is dan 0,05, betekent dit dat met meer dan 95% zekerheid geconcludeerd kan worden dat de proefeenheden voor die variabele verschillend zijn. Alleen wanneer de proefeenheden niet statistisch significant van elkaar afwijken, of wanneer statistisch significante verschillen in omvang beperkt blijven tot 5% van het gemiddelde, kunnen deze proefeenheden gebruikt worden in proefopzetten 1b en 2. Het is dus niet toegestaan systematische verschillen in emissie tussen de proefeenheden te accepteren en 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. Wanneer er geen vergelijkende meetperiode mogelijk is op een locatie, dan kan deze locatie niet worden gebruikt voor proefopzetten 1b en 2.

A4.4 Aantallen veehouderijen/onderzoekslocaties

Afhankelijk van de proefopzet 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.

Proefopzet 1a:

- ≥ 2 locaties

Proefopzet 1b:

- ≥ 3 locaties

Proefopzet 2:

- ≥ 3 locaties

Proefopzet 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

Proefopzet 4:

- ≥ 4 locaties

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

Toelichtend kader: aantallen bedrijfslocaties in meetcampagnes in relatie tot onzekerheid van het emissiecijfer, meetinspanningen en kosten

De één-bedrijfslocatie-strategie in het 'Groen Label protocol' van 1993

In de jaren negentig van de vorige eeuw startte het (ammoniak)emissieonderzoek aan stallen met een focus op het accuraat kunnen meten van ventilatiedebieten en concentraties om emissies te kunnen bepalen, het begrijpen en modelleren van fysische, chemische en biologische mechanismen die ten grondslag liggen aan emissie en het ontwikkelen van mitigerende maatregelen en technieken. Ten aanzien van het bepalen van emissiefactoren van huisvestingssystemen werd erkend dat deze sterk afhankelijk zal zijn van diersoort, seizoen (weersomstandigheden), het tijdstip binnen een groeironde en de voeding (Van Ouwkerk et al., 1993; VROM, 1993). In de eerste 'Beoordelingsrichtlijn emissiearme stallen' (VROM, 1993), kortweg: het 'Groen Label protocol', werd daarmee op twee manieren rekening gehouden. In de eerste plaats werd de mate van variatie in invloedsfactoren beperkt door landbouwkundige randvoorwaarden op te nemen waaraan een veehouderij/onderzoekslocatie moest voldoen. In de tweede plaats werd in Tabel 3 in VROM (1993) per diersoort voorgeschreven tijdens welke periodes metingen moesten plaatsvinden zodat variatie in de tijd in de meetcampagnes werd geïncorporeerd (zo moest bijvoorbeeld een meetcampagne bij vleesvarkens twee volledige mest rondes beslaan waarvan één van beide mest rondes een startdatum in het tweede kwartaal moest hebben om de warmere zomerperiode te includeren). In deze meetperiodes werden ammoniakconcentraties continu gemeten. Aanvankelijk werd gedacht met deze één-bedrijfslocatie-strategie – tezamen met landbouwkundige randvoorwaarden en in de tijd gespreide metingen – een voldoende accuraat en representatief emissiegetal te verkrijgen die geldig verklaard kon worden voor de totale populatie van stallen met het beproefde huisvestingssysteem.

Studies naar de onzekerheid van emissiefactoren (1996-heden)

Eerste onzekerheidsberekeningen van emissiefactoren werden uitgevoerd voor geuremissiefactoren verkregen uit een omvangrijke meetcampagne in de jaren 1996-1999 bij 20 verschillende huisvestingssystemen voor varkens, pluimvee en rundvee (Ogink & Lens, 2001). Om de nauwkeurigheid van het Groen Label protocol te kunnen beoordelen werden bij twee huisvestingssystemen vier bedrijfslocaties bemeaten (bij de overige huisvestingssystemen was dit één bedrijfslocatie), namelijk de

conventionele huisvesting voor vleesvarkens en zeugen. De data van deze twee huisvestingssystemen is geanalyseerd en gerapporteerd door Ogink et al. (1997). Uit de studie bleek een forse tussenbedrijfsvariatie in geuremissie voor met name het huisvestingssysteem voor vleesvarkens: een relatieve standaarddeviatie tussen bedrijfslocaties van 22%. De studie van Ogink et al. (1997) concludeerde destijds dat er forse tussenbedrijfsvariatie in geuremissie kan bestaan en dat niet alleen duplo-variatie en binnenbedrijfsvariatie (variatie in de tijd) belangrijk zijn (zoals tot dat moment opgenomen in de één-bedrijfslocatie-strategie van het Groen Label protocol), maar dat bemonsteringstrategieën in protocollen gebaseerd moeten zijn op een analyse van alle bronnen van variatie, inclusief tussenbedrijfsvariatie; dit laatste in de vorm van het includeren van meerdere bedrijfslocaties in de bemonsteringsstrategie. Hierna zijn tevens onzekerheidsberekeningen uitgevoerd op de ammoniakemissies van varkensstallen (Mosquera et al., 2008), de ammoniakemissies van melkveestallen (Ogink et al., 2014), de fijnstofemissies van pluimvee- en varkensstallen (Winkel et al., 2015), en de fijnstofreducties van fijnstofreducerende maatregelen in pluimveestallen (Winkel et al., 2020). De studie van Ogink et al. (2014) bepaalde de tussenbedrijfsvariatie in ammoniakemissie van 17 stallen voor melkkoeien. De tussenbedrijfsvariatie, uitgedrukt als relatieve standaardafwijking, bedroeg 15%. Vertaald naar een conventioneel huisvestingssysteem voor melkkoeien (Omgevingsregeling, bijlage V, categorie HA1.100) met een emissiefactor van 13 kg/jaar/dierplaats, bemeten bij n=4 bedrijfslocaties, betekent dit dat 13 de *meest waarschijnlijke* waarde is, maar dat het gemiddelde met 95% zekerheid (een 95%-betrouwbaarheidsinterval) zou kunnen liggen tussen 11 en 15. Deze studies bevestigen de conclusie dat een bemeten emissie of emissiereductie op één bedrijfslocatie onvoldoende voorspellende waarde heeft voor de totale populatie van stallen met het beproefde huisvestingssysteem.

Doorwerking van onzekerheidsstudies in protocollen

Vanwege de conclusies uit de hiervoor beschreven onzekerheidsstudies werd sinds 2010 in de Nederlandse meetprotocollen gewerkt met een zogenaamde multi-bedrijfslocatie-strategie. In de multinationale meetprotocollen van VERA t.a.v. emissies van huisvestingssystemen (VERA, 2018a) en emissiereducties van nageschakelde luchtreinigingstechnieken (VERA, 2018b) is deze aanpak ook opgenomen. In deze protocollen moeten respectievelijk minimaal vier en twee bedrijfslocaties (met een case-control opzet) worden bemeten. Het principe van de multi-bedrijfslocatie-strategie is ook in het onderhavige rapport als uitgangspunt genomen. De aantallen in eerdere protocollen zijn gekozen om de werkelijke gemiddelde emissie of emissiereductie zo dicht als redelijkerwijs mogelijk te benaderen bij een zo efficiënt mogelijke inzet van budget, materialen en arbeid.

Theoretisch kader ten aanzien van aantallen bedrijfslocaties

Een emissiefactor van een huisvestingssysteem of een reductiepercentage van een emissiereducerende techniek is een door metingen verkregen schatting (steekproefgemiddelde) van de werkelijke gemiddelde emissie of reductie (populatiegemiddelde). Deze laatste is onbekend. Het populatiegemiddelde zou in principe vastgesteld kunnen worden door alle in Nederland bestaande bedrijfslocaties met het huisvestingssysteem of reductietechniek aan metingen te onderwerpen, maar dit is uiteraard praktisch en financieel ondoenlijk.

Het steekproefgemiddelde zoals die verkregen is door metingen volgens meetprotocollen kunnen zeer dicht bij het populatiegemiddelde liggen maar deze uiteraard ook onderschatten of overschatten. Het steekproefgemiddelde kent een mate van onzekerheid. Op basis van het aantal bemeten bedrijven en de spreiding die aangetroffen is kan berekend worden met welke precisie de gemiddelde emissie of reductie is geschat. Dit kan worden uitgedrukt in een xx%-betrouwbaarheidsinterval waarvan het 95%-betrouwbaarheidsinterval (95%-BI) een wetenschappelijke standaard is. Het 95%-BI bestaat uit een ondergrens en een bovengrens voor de door metingen verkregen gemiddelde emissie of reductie waarvoor geldt dat de kans 95% is dat de werkelijke emissie of reductie daarbinnen valt. Concreet betekent dit: wanneer er niet één maar 20 meetcampagnes uitgevoerd zouden worden, dan zullen gemiddeld 19 meetcampagnes (95%) een emissie of reductie opleveren die binnen het interval ligt terwijl er gemiddeld één meetcampagne (5%) een emissie of reductie zal opleveren die buiten het interval ligt.

Bij het aantal bedrijfslocaties in een meetcampagne moet het volgende worden bedacht:

- Een emissie of emissiereductie van één bedrijfslocatie is de kleinste mogelijke trekking uit een populatie van bedrijfslocaties. Het levert geen informatie over tussenbedrijfsvariatie. Er kan geen

onzekerheidsmarge (betrouwbaarheidsinterval) voor het gemiddelde worden gegeven omdat daarvoor de informatie van meerdere bedrijfsgemiddelden ontbreekt.

- Bij twee bedrijfslocaties worden twee trekkingen gedaan uit een populatie van bedrijfslocaties. Er wordt op het laagste niveau van één herhaling inzicht verkregen in de mate waarin het meetresultaat op het ene bedrijf reproduceerbaar is op het andere bedrijf. Er kan een standaardafwijking over de twee emissiecijfers worden berekend, alsook een standaardfout en een betrouwbaarheidsinterval voor het gemiddelde. Een 95%-BI kan worden berekend als: het steekproefgemiddelde \pm een t -waarde uit de Student's t -verdeling * de standaardfout. De standaardfout is gelijk aan de standaardafwijking tussen de bedrijfsgemiddelden gedeeld door de (vierkants)wortel uit het aantal bedrijfslocaties. In formulevorm:

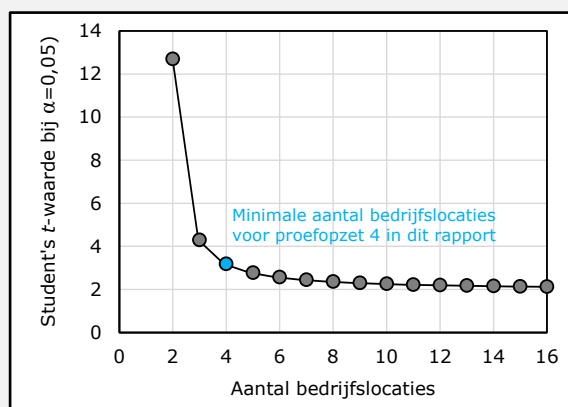
$$\bar{E}_{ij} \pm t_{(\alpha; v=n-1)} * SE$$

met:

- \bar{E}_{ij} = de overallemiddelde emissie over de locatiegemiddelden van de j bedrijfslocaties met interventie i ;
- t = de waarde uit de Student's t verdeling bij onbetrouwbaarheid α (deze bedraagt 0,05 voor een 95%-BI) en v vrijheidsgraden ($v = n - 1$);
- n = het aantal bemeaten bedrijfslocaties (het aantal locatiegemiddelden);
- SE = de standard error (standaardfout) van het overallemiddelde. Deze wordt berekend door de standaarddeviatie (SD) over de bedrijfsgemiddelden te delen door de wortel uit het aantal bedrijfslocaties, oftewel: SD/\sqrt{n} .

Bij de wens voor een 95%-betrouwbaarheidsinterval bij twee bedrijfslocaties (1 vrijheidsgraad; $v = n - 1$) bedraagt de t -waarde maar liefst 12,71. Dit betekent dat de grenzen van het 95% betrouwbaarheidsinterval op $12,71 * \text{de standaardfout}$ boven en onder het gemiddelde liggen. Het kleine aantal waarnemingen werkt via de bijbehorende grote t -waarde als een multiplier op de grenzen van het interval.

- Bij drie, vier, enzovoort, bedrijfslocaties worden respectievelijk drie, vier, enzovoort, trekkingen gedaan uit een populatie van bedrijfslocaties. Hoe groter het aantal bedrijfslocaties, hoe dichter het steekproefgemiddelde het populatiegemiddelde zal benaderen (de wet van de grote getallen). Met andere woorden: het steekproefgemiddelde wordt accurater. Daarnaast neemt de precisie waarmee het steekproefgemiddelde wordt geschat toe, zichtbaar als smallere marges in het 95%-BI. Met andere woorden: het steekproefgemiddelde wordt zekerder. De hierboven genoemde t -waarde (multiplier) in de berekening van het 95%-BI daalt naar 4,30 bij drie, 3,18 bij vier, 2,78 bij vijf, 2,26 bij tien, 2,09 bij twintig, 2,05 bij dertig en 1,96 bij een oneindig groot aantal bedrijfslocaties:



Hieruit volgt dat de grootste winst in zowel accuraatheid als precisie van het steekproefgemiddelde te behalen valt in de eerste paar bedrijfslocaties die worden toegevoegd aan een basissituatie van één bedrijfslocatie (een situatie van een 'afnemende meeropbrengst').

- Een ruwe statistische vuistregel is dat een populatiegemiddelde vaak redelijk accuraat en precies kan worden bepaald op basis van tenminste 30 waarnemingen (hier: bedrijfslocaties). In het domein van emissies uit stallen wordt het bereiken van zulke aantallen sterk gelimiteerd door de daarvoor benodigde (meet)materialen, arbeid en budget (en mogelijk ook door het aantal technische interventies dat door de producent in stallen moet worden geïnstalleerd en gefinancierd). Dit gold met name in het verleden waarbij metingen afhankelijk waren van relatief dure referentiemetingen (SRM) en analyzers. Met de

komst van voldoende presterende en relatief goedkope sensoren in de afgelopen circa vijf jaar is deze situatie langzaam maar zeker aan het verschuiven.

Keuzes vanuit wetenschappelijk versus beleidsmatig perspectief

Vanuit bovenstaande achtergrond zijn in dit rapport een aantal keuzes gemaakt, maar worden ook een aantal keuzen open gelaten die beleidsmatig van aard zijn. Het gaat om de volgende aspecten.

1. In dit rapport is de keuze gemaakt om te verplichten dat concentraties (en daarmee emissies) continu gemeten worden waar dat mogelijk is gelet op de beschikbaarheid van voldoende presterende en relatief goedkope sensoren (dit is het geval voor CO₂, ammoniak en methaan; optioneel lachgas; zie hoofdstuk A5). Hiermee wordt bereikt dat het emissiegetal van elke individuele bedrijfslocatie accurater en zekerder wordt bepaald dan wanneer er zes 24-uursmetingen zouden worden uitgevoerd verspreid over het jaar en de productiecycclus van de dieren (zoals in voorgaande meetprotocollen). Daarnaast wordt het moeilijk om de emissiereductie van een interventie kortstondig maximaal (niet-representatief) te laten zijn door de interventie te 'pimpen' kort voor een (voorheen) discontinue 24-uursmeting. Door de werkgroep wordt het nodig geacht de continue sensormetingen voorlopig nog te valideren op discontinue 24-uursmetingen met de SRM. In de toekomst moet uit analyses van empirische meetgegevens blijken in welke mate dit kan worden afgeschaald.

2. Wat betreft het aantal bedrijfslocaties heeft de werkgroep – op basis van de hierboven beschreven achtergrond – als basis gehouden *minimaal* twee bedrijfslocaties bij een case-control proefopzet en *minimaal* vier bedrijfslocaties bij een multi-bedrijfslocatie-proefopzet.

3. Een belangrijk aspect is het woord *minimaal* in punt 2. Uit de hierboven beschreven achtergrond blijkt dat het verder vergroten van dit aantal de accuraatheid en zekerheid van het emissiegetal of emissiereductiegetal nog sterk doet toenemen. Met de aantallen van twee en vier is dus een absolute wetenschappelijke ondergrens gemarkeerd. Grotere aantallen zijn gewenst, maar moeten afgewogen worden tegen de meerinspanningen en meerkosten die dat met zich meebrengt. Deze afweging is niet alleen een wetenschappelijke, maar ook een beleidsmatige, politieke en juridische.

Voortbouwend op de geschetste achtergrond en punt 3. wordt aan het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in overweging gegeven om bij het vaststellen van emissiefactoren of emissiereductiepercentages (Omgevingsregeling, bijlagen V en VI) de precisie waarmee dat cijfer is bepaald te laten meewegen in de hoogte van het cijfer. Daarmee wordt bereikt dat de emissiefactoren van interventies die robuust werken van bedrijf tot bedrijf (resultierend in een kleinere tussenbedrijfsvariatie en daarmee precisie) en die bij grotere aantallen bedrijfslocaties zijn bemeaten (resultierend in een grotere mate van zowel accuraatheid als precisie) met kleinere onzekerheidsmarges kunnen worden vastgesteld. Onder andere vanwege deze overweging wordt in dit rapport verplicht gesteld dat niet alleen een centrummaat (gemiddelde of mediane emissie of emissiereductie) wordt gerapporteerd, maar ook een aantal spreidingsmaten en 70%, 80%-, 90%-, 95%- en 99%-betrouwbaarheidsintervallen. Deze spreidingsmaten en precisieën kunnen worden gebruikt om emissiecijfers met inbegrip van een veiligheidsmarge vast te stellen waarvan de omvang afhankelijk is van de behaalde precisie in de meetcampagne als resultante van robuustheid van de prestatie van de interventie en het aantal bedrijfslocaties waar de interventie is beproefd.

A4.4.1 Bemeetbaarheid van meetlocatie

Veehouderijen/onderzoekslocaties moeten voldoende technisch accuraat te bemeeten 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.

-
- Eindafdelingen hebben ten opzichte van tussenafdelingen een extra buitengevel waardoor hun emissie kan afwijken van tussenafdelingen. Dit kan de zuiverheid van de proefopzet verlagen. Dit geldt met name bij stallen met een gecontroleerd binnenklimaat dat (sterk) kan afwijken van het buitenklimaat, zoals afdelingen van varkens, pluimvee en kalveren. Om die reden mogen bij dit type stallen alleen eindafdelingen met eindafdelingen en tussenafdelingen met tussenafdelingen worden vergeleken.
 - Stallen met overdekte of vrije uitlopen kunnen tijdens de perioden waarin deze in gebruik zijn niet zondermeer worden bemeten omdat de onderdruk in de stal bij open uitloopschuiven zeer laag is en emissie door die openingen ongecontroleerd kan optreden. Daarbij verhoogt de inschatting van het aantal dieren dat zich buiten bevindt eveneens de onzekerheid in het resultaat. Deze stallen kunnen vooralsnog bemeetbaar worden gemaakt door in deze stallen: a) voor discontinue metingen te kiezen (zie par. A5.2); en b) de dieren tijdens de meetperiode in het stalgebouw te houden. Hiervoor moet een melding gedaan worden of toestemming gevraagd worden bij de houder of verantwoordelijke van een keurmerk of productiewijze. Deze methode resulteert in een emissiecijfer voor het stalgebouw, maar niet voor de uitloop. Lopend en toekomstig onderzoek zal mogelijk leiden tot het kunnen bemeten van stallen met geopende uitloopschuiven alsook de uitlopen zelf.
 - Bij sommige stalgebouwen met natuurlijke ventilatie is het niet - mogelijk de uitgaande concentratie representatief te meten. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn bij:
 - zeer open stalgebouwen;
 - stalgebouwen met dwarsventilatie (zoals zogenaamde serrestallen);
 - stalgebouwen met meerdere kappen/nokken van gelijke vorm/dakhelling en afmetingen;
 - stalgebouwen met meerdere kappen/nokken van verschillende vorm/dakhelling en afmetingen;
 - stalgebouwen bestaande uit meerdere deelgebouwen die in een hoek (bijvoorbeeld haaks; L-vorm) op elkaar zijn geplaatst.

A4.4.2 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 bijlage A1.

A5 Meetstrategie

A5.1 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 goed 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.

A5.2 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'.

A5.3 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 (Omgevingsregeling, bijlage V)	Diercategorie
HA. Rundvee	Melk- en kalfkoeien van 2 jaar en ouder Vrouwelijk jongvee jonger dan 2 jaar Fokstieren jonger dan 2 jaar Zoogkoeien ouder dan 2 jaar Overig rundvee van 2 jaar en ouder
HB. Schapen	Schapen van 1 jaar en ouder (inclusief lammeren)
HC. Geiten	Geiten van 1 jaar en ouder
HD. Varkens	Guste en dragende zeugen
HE. Kippen	Legkippen en ouderdieren van legkippen, van 18 weken en ouder Ouderdieren van vleeskuikens van 19 weken en ouder
HG. Kalkoenen	Ouderdieren van vleeskalkoenen van 30 weken en ouder
HH. Eenden	Ouderdieren van vleeseenden
HI. Struisvogels	Struisvogels van 12 maanden en ouder
HK. Konijnen	Voedsters (inclusief 0,15 ram en bijbehorende jongen tot spenen)
HL. Paarden	Paarden van 3 jaar en ouder Paarden jonger dan 3 jaar

Hoofdcategorie (Omgevingsregeling, bijlage V)	Diercategorie
	Pony's van 3 jaar en ouder
	Pony's jonger dan 3 jaar

Dieren met een rechtlijnig toenemend emissiepatroon zijn:

Hoofdcategorie (Omgevingsregeling, bijlage V)	Diercategorie	Gemiddelde groeiperiode (dagen)
HA. Rundvee	Vleeskalveren jonger dan een jaar	
	- Blankvleeskalveren	Ca. 190
	- Rosévvleeskalveren jong	Ca. 220
	- Rosévvleeskalveren oud	Ca. 280
	Overig vleesvee vanaf spenen en jonger dan twee jaar	548
HC. Geiten	Geiten vanaf 61 dagen tot een jaar	304
	Geiten tot 61 dagen	60
HD. Varkens	Gespeende biggen minder dan 25 kg	42
	Kraamzeugen (inclusief biggen tot spenen)	40
	Vleesvarkens van 25 kg en meer	110
	(ook opfokberen en opfokzeugen)	
HE. Kippen	Opfokhennen en -hanen van legkippen jonger dan 18 weken	126
	Ouderdieren van vleeskuikens in opfok jonger dan 19 weken	133
HG. Kalkoenen	Ouderdieren van vleeskalkoenen jonger dan 6 weken	42
	Ouderdieren van vleeskalkoenen van 6 weken en ouder en jonger dan 30 weken	168
HI. Struisvogels	Struisvogels jonger dan 4 maanden	120
	Struisvogels van 4 maanden en ouder en jonger dan 12 maanden	240
HK. Konijnen	Vlees- en opfokkonijnen tot dekleeftijd	60
Pelsdieren *)	Nertsen	122

*) Het houden van nertsen is in Nederland (sinds 8-1-2021) en Vlaanderen (sinds 1-12-2023) niet langer toegestaan.

Dieren met een exponentieel toenemend emissiepatroon zijn:

Hoofdcategorie (Omgevingsregeling, bijlage V)	Diercategorie	Gemiddelde groeiperiode (dagen)
HE. Kippen	Vleeskuikens	32 tot 56
HF. Parelhoenders	Vleesparelhoenders	42
HG. Kalkoenen	Vleeskalkoenen	115 tot 144
HH. Eenden	Vleeseenden	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 moeten gelijkmatig over de jaarkwartalen 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 moeten gelijkmatig over de jaarkwartalen 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.

A5.4 Meetposities

A5.4.1 Uitgangspunten

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 het ventilatiedebiet wordt bepaald met de CO₂-tracergasratimethode moet in de ingaande luchtstroom de concentratie van CO₂ worden gemeten. Meetposities van uitgaande en ingaande lucht worden in aantal en ruimtelijke positionering zo gekozen dat er een representatieve bemonstering/meting plaats vindt. Dat wil zeggen: dat de samenstelling van de bemonsterde/bemeten lucht een juiste afspiegeling is van die van de uitgaande of ingaande lucht. De keuze van meetposities wordt onderbouwd beschreven in het meetplan. Metingen van uitgaande en ingaande lucht, alsook van de verschillende componenten, worden simultaan uitgevoerd.

A5.4.2 Beschouwing van de meetsituatie

Het kiezen van het aantal en de plaats van meetposities begint met het zorgvuldig beschouwen van de meetsituatie aan de hand van de volgende vragen:

- Waar treedt de uitgaande luchtstroom naar buiten?
- Waar treedt de ingaande luchtstroom naar binnen?
- Waarlangs stroomt de lucht van inlaat naar uitlaat? Hierbij zijn rookproeven en luchtsnelheidsmetingen nuttig.
- Welke bronnen/situaties zijn aanwezig in het stalgebouw die gradiënten of lokaal afwijkende concentraties kunnen geven (ruimtelijk inhomogene concentraties)? Denk bij melkkoeien bijvoorbeeld aan afstortopeningen naar mestkelders, plaatsen waar mogelijk kelderventilatie optreedt, plaatsen met mestophopingen, strohokken voor zieke of afkalvende dieren en delen van de stal met een normale bezetting (melkgevende dieren) versus delen met een lagere bezetting (droge koeien, jongvee). Denk bij pluimvee bijvoorbeeld aan plaatsen met een dikkere strooisellaag versus plaatsen waar bijna geen strooisel ligt en aan afstortpunten van mestbanden naar ondergrondse vizzels. Denk bij varkens bijvoorbeeld aan hokken met veel versus hokken met weinig hokbevuiling en aan hokken met een hogere temperatuur nabij ruiten in de buitengevel versus hokken met een lagere temperatuur in de rest van de afdeling. Denk bij melkgeiten bijvoorbeeld aan potten met een ouder en dikker stropakket versus potten met een jonger en dunner stropakket. Deze voorbeelden zijn illustratief en niet uitputtend.

- Zijn er lokale bronnen van gassen rond het stalgebouw (< 200 m) aanwezig die de concentraties van ingaande en uitgaande lucht in bepaalde (weer)situaties kunnen beïnvloeden? Zijn er lokale objecten, gebouwen, struiken of bomen rond het stalgebouw aanwezig die de mate of positie van de ingaande luchtstroom in bepaalde (weer)situaties kunnen beïnvloeden?
- Bij mechanische ventilatie: welke (groepen) ventilatoren worden in welke volgorde en bij welke waarde van welk criterium (temperatuur, onderdruk, CO₂) aangeschakeld, uitgeschakeld, bij- of terug geregeld?

A5.4.3 Meetposities voor CO₂ en emitterende stoffen in natuurlijk geventileerde stallen met luchtuitlaat via een open nok

Bij natuurlijk geventileerde stalgebouwen met een luchtuitlaat via een open nok (veel voorkomend bij melkkoeien, melkgeiten en vleesvee) moeten concentraties als ruimtelijk inhomogeen worden verondersteld. Een enkelvoudige meetpositie voldoet in dit type stalgebouwen niet omdat daarmee de ruimtelijke variabiliteit onvoldoende wordt meegenomen in het meetresultaat. In deze gebouwen wordt de uitgaande lucht voor wat betreft gassen (NH₃, CH₄, N₂O, CO₂) en geur bemonsterd of bemeten op meetposities op minimaal elke 10 meter lengte van het stalgebouw, beginnende en eindigende op circa 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 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. 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. Om lucht te bemonsteren waarin de verschillende stoffen uit het stalgebouw voldoende homogeen zijn, bevinden meetposities zich op minimaal 3 meter hoogte (ten opzichte van de stalvloer). Stallen waarin niet voldaan kan worden aan de criteria van 2 meter onder de nokopening én 3 meter boven de stalvloer (stallen met een interne nokhoogte kleiner dan 5 meter) zijn onvoldoende bemeetbare stallen. Het is financieel ongunstig en meettechnisch minder valide om op elk van de genoemde punten over de lengte van het stalgebouw afzonderlijke gassensoren te plaatsen. In de meetpraktijk wordt voor gassen doorgaans een verzamel-aanzuigleiding opgehangen met korte aftakkingen met aanzuigopeningen op voornoemde posities. In de aftakking wordt een kritisch capillair toegepast die een constante flow rate (L/min) bewerkstelligt wanneer er voldoende onderdruk in de verzamelleiding wordt gegenereerd. Dezelfde hoeveelheid lucht wordt via de kritisch capillair op elke meetpositie bemonsterd. De verzamellucht van alle meetposities wordt op een centraal punt (in een zogenaamde 'meetbuis') bemeten door één sensor. Met een toepassing waarbij een beschermende behuizing met daarin meerdere sensoren langs voornoemde posities beweegt wordt in principe hetzelfde bereikt. Een derde toepassing zijn de open-pad lasers die een gemiddelde concentratie opleveren over een horizontaal traject door de stalruimte (daarbij zijn de meetposities op minimaal elke 10 m lengte van het stalgebouw uiteraard niet van toepassing).

Voor inhaleerbaar stof (PM₁₀₀) en fijnstof (PM₁₀, PM_{2,5}) wordt de uitgaande lucht bemonsterd of bemeten op meetposities op minimaal de helft van voornoemde posities; dat wil zeggen elke 20 meter lengte van het stalgebouw. Voorbeeld: een stal met een open nok over een lengte van 60 meter wordt uitgerust met minimaal meetposities op 10, 30 en 50 meter (drie stuks).

A5.4.4 Meetposities voor CO₂ en emitterende stoffen in mechanisch geventileerde stallen

Bij mechanisch geventileerde stallen wordt de uitgaande luchtstroom gerealiseerd door ventilatoren. De ingaande luchtstroom vindt plaats door de onderdruk in de stal, of wordt eveneens door ventilatoren gerealiseerd (zoals soms bij pluimveestallen met uitlopen). De ventilatoren kunnen aanwezig zijn in gevels (horizontale uitstroom) of in dakkokers (verticale uitstroom). Ventilatoren kunnen ook aanwezig zijn aan het einde van een centraal luchtkanaal waarbij ventilatiekokers tussen de afdelingen en centrale luchtkanaal zijn voorzien van zogenaamde smookkleppen die de mate van ventilatie per afdeling regelen. Ventilatoren werpen de lucht soms niet direct naar buiten, maar stuwen deze in een drukkamer voor een nageschakelde luchtbehandelingstechniek.

Direct vóór een ventilator en binnenin een ventilatiekoker mag de stallucht worden beschouwd als maximaal opgemengd, homogeen en representatief voor de lucht die de afdeling of stal op die plaats verlaat. Bemonstering van gassen en geur kan op voornoemde twee plaatsen plaatsvinden door de aanzuigopening

van een monsternamaleiding te fixeren op circa halverwege de straal van de koker. In een luchtkanaal is er sprake van een relatief groot tweedimensionaal meetvlak waarbinnen concentraties mogelijk niet homogeen zijn. De homogeniteit van het meetvlak moet beproefd worden volgens EN 15259:2007.

Voor fijnstof geldt dat niet-isokinetische meetcondities zo veel mogelijk moeten worden voorkomen of geminimaliseerd door monsternamepunten zodanig ten opzichte van gevelventilatoren of dakkokers 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) moeten bemonsteringspunten, met gebruik van een luchtsnelheidsmeter, op voldoende horizontale afstand bovenstrooms van de ventilatoren te worden geplaatst om aan het < 2 m/s criterium te voldoen. In stallen met ventilatie via dakkokers wordt bemonstering in een horizontale luchtstroom < 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. Concentraties van (fijn)stof kunnen ook in een luchtkanaal (zoals het centrale ventilatiekanaal van varkensstallen) worden bemonsterd. Hiervoor is isokinetische stofmonsternamere vereist. De monsternamere moet dan plaats vinden volgens NEN-EN 13284-1:2017.

A5.4.5 Meetposities voor CO₂ en emitterende stoffen in de ingaande lucht

Wanneer het ventilatiedebiet wordt bepaald met de CO₂-tracergasratiomethode moet de concentratie van CO₂ zowel in de uitgaande als ingaande luchtstroom worden gemeten. Voor de emitterende stoffen NH₃, CH₄, N₂O, inhaleerbaar stof (PM₁₀₀) en fijnstof (PM₁₀, PM_{2,5}) is monsternamere/meting van de ingaande lucht aangeraden maar niet verplicht. Bij achterwege latting van monsternamere/meting van emitterende stoffen in de ingaande lucht mag deze niet gecorrigeerd worden met data uit bronnen zoals het Landelijk Meetnet Luchtqualiteit. Hierdoor wordt de emissie in (zeer) lichte mate overschat, maar nooit onderschat.

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 CO₂ of de emitterende stof binnen 200 meter. De mate van invloed van een nabije bron moet beoordeeld worden op basis van het brontype (stalgebouw, mestopslag, mestoverslag, mestbe-/verwerking, enzovoort), de (verwachte) 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 emitterende stoffen 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 kritische capillairen, te meten.

In natuurlijk geventileerde stallen (bijvoorbeeld voor melkkoeien en melkgeiten) bestaat de luchtinlaat vaak uit (deels) open zijgevels, wordt het 24-uursgemiddelde ventilatiedebiet doorgaans bepaald met de CO₂-tracergasratiomethode, en is het concentratieverschil tussen de uitgaande en ingaande lucht aanzienlijk kleiner dan in mechanisch geventileerde stallen voor bijvoorbeeld varkens en pluimvee. Bij het bepalen van het ventilatiedebiet met de CO₂-tracergasratiomethode in natuurlijk geventileerde stallen moet de ingaande lucht aan beide zijden van de stal worden bemeten. Als concentratie in de ingaande lucht moet de laagste waarde van beide zijden worden genomen. Dit is een conservatieve benadering zodat emissies in ieder geval niet worden onderschat.

A6 Meetmethoden ventilatiedebiet

A6.1 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;
- bij het melken van dieren in een ander gebouw dan het stalgebouw zijn dieren eveneens meerdere uren per dag niet aanwezig in de stal;
- 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 (zoals zogenaamde serrestallen) en stalgebouwen met meerdere nokken.

A6.2 Meetventilatoren op werkventilatoren zonder registratie

Meetventilatoren zijn groot-formaat anemometers die niet verbonden zijn met de motor van de werkventilator maar die uitsluitend aangedreven worden door de luchtstroom in de ventilatiekoker waar ze worden geplaatst. Voor het gebruik van deze methode zijn de volgende voorwaarden van toepassing.

- In de stal is voldoende onderdruk aanwezig om ervoor te zorgen dat er geen emissie optreedt uit andere openingen dan die van de ventilatoren.
- De meetventilator moet voorafgaand aan de toepassing in een meetcampagne worden gereinigd. De meetventilator moet bij plaatsing vrij zijn van vervuiling (stof, insecten (spinnen, bloedluizen, etcetera), spinnenrag, enzovoort) en corrosie. Lagers moeten vrij zijn van slijtage. De schoepen van de

meetventilator moeten (vrijwel) weerstandsloos draaien zonder bijgeluiden of haperingen. Tijdens de toepassing in een meetcampagne moet een meetventilator tijdig worden gereinigd en onderhouden.

- De meetventilator moet voorafgaand aan de toepassing in een meetcampagne gekalibreerd 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.
- Kalibratie vindt tenminste jaarlijks plaats.
- Indien technisch mogelijk worden meetventilatoren gedemonteerd en gekalibreerd in een windtunnelopstelling. Wanneer het demonteren van meetventilatoren niet mogelijk is, of op grote praktische of technische bezwaren stuit, kan een in-situ meetventilator worden gekalibreerd met een recent gekalibreerde hulpmeetwaaier die bovenstrooms van de in-situ meetwaaier wordt geplaatst. Daarbij blijft de in-situ meetventilator op zijn plaats. Het als juist veronderstelde ventilatiedebiet wordt bepaald met de pulsen van de recent gekalibreerde hulpmeetwaaier en de kalibratielijn uit de windtunnelopstelling. De kalibratielijn voor de in-situ meetwaaier wordt vervolgens opgesteld met het ventilatiedebiet van de hulpmeetventilator als y-waarde, het aantal pulsen per tijdseenheid als x-variabele en een intercept. Nadelige effecten van het inzetten van een hulpmeetwaaier kunnen zijn dat de drukval in de ventilatorkoker enigszins toeneemt en dat de hulpmeetwaaier een rotatie-effect kan geven op de in-situ meetwaaier. Naar verwachting zijn de effecten echter klein. Daarmee wordt deze kalibratiemethode als acceptabel gezien voor stalsituaties.
- De meetventilator moet stroomopwaarts (bij onderdrukventilatie is dat onder de ventilator) worden gemonteerd, op voldoende afstand (bij voorkeur twee keer de diameter van de koker) van de ventilatiekoker. Daarnaast moet een instroomrand onder aan de ventilatorkoker te worden geplaatst om wervelingen bij intrede van de stallucht te verminderen.
- 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).
- De meetventilator moet na afloop van de toepassing in een meetcampagne gekalibreerd worden. Een verloop in de waarde van de meetventilator moet in de met de meetventilator verkregen data lineair worden gejusteerd tussen start- en eindkalibratie.

A6.3 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 werkventilator moet frequentiegericht zijn (een spanningsgeregelde werkventilator geeft een te onnauwkeurige debietregistratie). De registratie van de werkventilatoren moet gekalibreerd worden aan de hand van meetventilatoren. Hierbij moet minimaal de helft van de werkventilatoren (van eenzelfde merk/type, leeftijd en onderhoudsstatus) gekalibreerd worden, 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/onderzoeklocatie 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.

A6.4 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:

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

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 op de tracergas ratiomethode kan worden voldaan. Dit wordt hieronder verder toegelicht.

A6.4.1 Natuurlijk tracergas: bepaling van de CO₂-productie van de dieren en hun mest

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 ($P_{\text{CO}_2\text{dieren}}$) als de CO₂-productie uit de mest ($P_{\text{CO}_2\text{mest}}$) rekening te worden gehouden:

$$P_{\text{CO}_2} = P_{\text{CO}_2\text{dieren}} + P_{\text{CO}_2\text{mest}} \quad (2)$$

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 rekenregels zoals beschreven in Bijlage A2. Wanneer de staltemperatuur (T_{stal}) tijdens de metingen afwijkt van 20 °C, wordt een correctiefactor toegepast (CIGR, 2002):

$$P_{\text{CO}_2\text{dieren}(T=20^\circ\text{C})} = P_{\text{CO}_2\text{dieren}} * (1000 + a * (20 - T_{\text{stal}}))/1000 \quad (3)$$

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.

A6.4.2 Natuurlijk tracergas: bepaling van de CO₂-productie van mest-/stro(oisel)laag met de statische fluxkamer methode

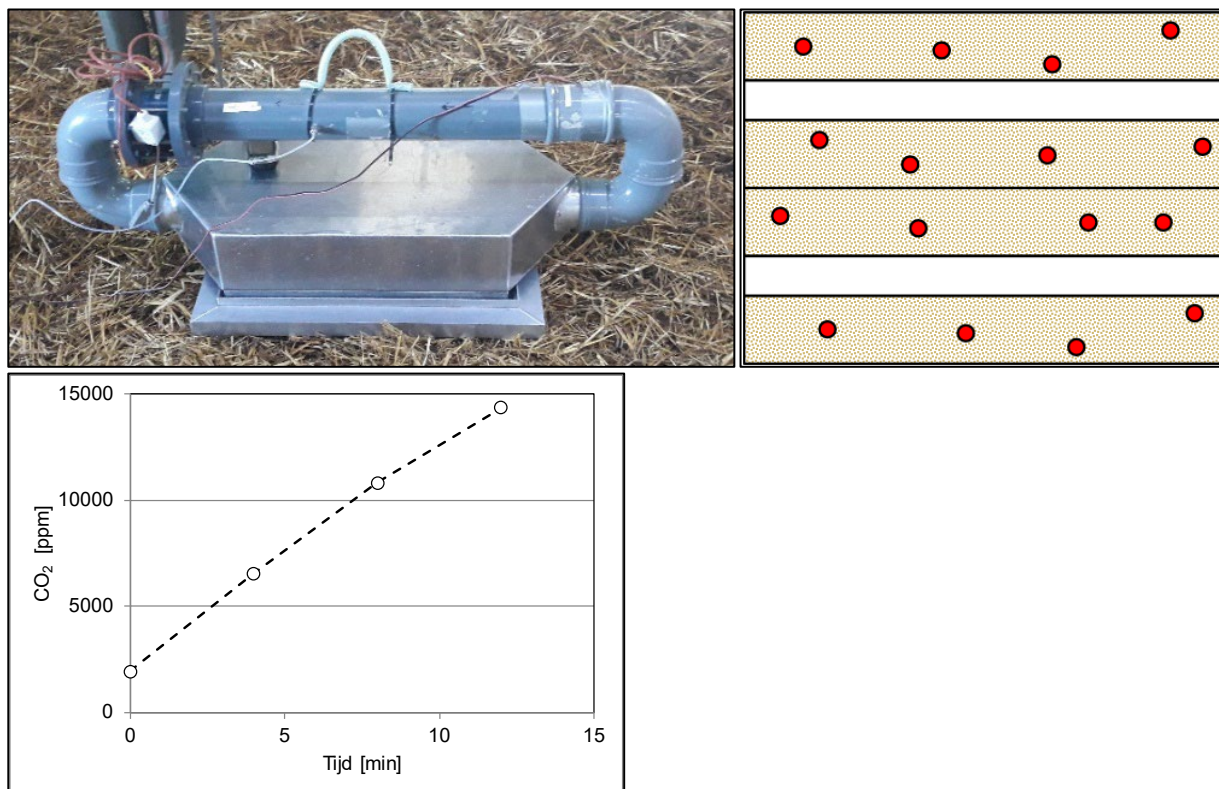
Voor stallen met drijfmest is de bijdrage uit de mest gering (10% volgens Pedersen et al., 2008). Bij potstallen (bijvoorbeeld geitenstallen) kan de mest/stro(oisel)laag (pot) een aanzienlijke en variabele bron van CO₂ zijn. In deze situaties zijn er aanvullende metingen nodig om de CO₂-productie uit de pot te bepalen. Dit kan worden gedaan door gebruik te maken van de statische (gesloten) fluxkamer methode. Bij deze methode wordt eerst een deel van de pot afgesloten en een frame in de pot gedrukt. Bovenop het frame wordt een fluxkamer geplaatst (oppervlakte A in m², inhoud V in m³; zie Figuur A2). Dit om verstoring van de CO₂-productie uit de strooisellaag door het plaatsen van de fluxkamer te minimaliseren. Als gevolg zal de concentratie in de ruimte onder de fluxkamer toenemen (zie voorbeeld in Figuur A2). De snelheid waarmee de concentratie in de fluxkamer zich opbouwt is een maat voor de CO₂-productie (PCO₂ (pot) in g CO₂ m⁻² uur⁻¹) uit de oppervlakte die door de fluxkamer is bedekt. Dit wordt berekend op basis van het (niet-

lineair) model van Hutchinson en Mosier (1981), waar rekening wordt gehouden met een mogelijke afname van de CO₂-productie naarmate CO₂ in de fluxkamer wordt geaccumuleerd:

$$PCO_2 (pot) = \frac{V \cdot (C_1 - C_0)^2}{A \cdot t \cdot (2 \cdot C_1 - C_2 - C_0)} \cdot \ln \left(\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_1} \right) \quad (4)$$

Met C₀ [g m⁻³] de concentratie op tijdstip t = 0 (plaatsing fluxkamer), C₁ [g m⁻³] de concentratie op tijdstip t, C₂ [g m⁻³] de concentratie op tijdstip 2*t.

Om een goed gemengde recirculatieluchtstroom over het gemeten oppervlakte te creëren, wordt een ventilator geplaatst, hetzij in de meetkamer zelf of in een buis die inlaat en uitlaat verbindt. Via een PE-slang (1/4") worden gasmonsters uit de goed gemengde meetkamer of uit de recirculatieluchtstroom genomen. 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 (Figuur A2), waardoor een gemiddelde CO₂-productie uit de pot kan worden bepaald. Na elke boxmeting wordt de fluxkamer enkele minuten geopend (ververst) voordat die naar een andere plek in de pot wordt verplaatst. Op elke plek worden minimaal 4 gasconcentratiemetingen uitgevoerd nadat de fluxkamer is geplaatst (drie nodig voor berekening, en één extra voor het geval dat de verversing niet goed is uitgevoerd en de eerste concentratiewaarde te hoog is).



Figuur A2 Boxmetingen om de CO₂-productie uit een diepe strooisellaag (pot) te bepalen. Linksboven: meetopstelling. Rechtsboven: Schematische weergave van een potstal met vier potten, en van de verschillende plekken in de potten waar boxmetingen worden uitgevoerd om rekening te houden met de ruimtelijke variatie in de CO₂-productie uit de pot. Onder: voorbeeld van de toename van de CO₂-concentratie.

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.

A6.4.3 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 moeten 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 november 2024 is dat er nog geen volledig gevalideerde vervangers zijn.

A7 Meetmethoden luchtconcentraties

A7.1 Uitgangspunten

Dit hoofdstuk beschrijft Standaard Referentie Methodes (SRM) voor het bemonsteren/meten van luchtconcentraties van ammoniak (NH_3), geur, methaan (CH_4), lachgas (N_2O), koolstofdioxide (CO_2), inhaleerbaar stof (PM_{100}) en fijnstof (PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$). Voor verschillende van deze stoffen bestaan er normen die beschrijven hoe deze stoffen bemonsterd of gemeten moeten worden bij industriële emissies of in buitenlucht. Er bestaan echter geen normen die dit specifiek voor veehouderij-emissies beschrijven. Meten bij industriële emissies of in buitenlucht kent aspecten die niet van toepassing zijn op veehouderij-emissies en het meten van veehouderij-emissies kent aspecten die niet of onvoldoende worden beschreven in bestaande normen voor industrie of buitenlucht. Daarom wordt in dit hoofdstuk zo veel mogelijk aangesloten bij bestaande normen, maar wordt daarnaast aangegeven wat er aanvullend of afwijkend op de normen nodig is voor kwaliteitsvolle referentiemetingen in de veehouderij.

A7.2 Ammoniak (NH_3)

Voor de continue doormeting van de stalemissies van NH_3 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'. Anders dan bij continue emissie monitoring in het kader van doelvoorschriften krijgt de veehouderij/onderzoekslocatie echter geen toegang tot monitoringsdata. Immers bij toepassing van resultaten voor een algemene erkenning zullen veehouders hier evenmin over beschikken en dus binnen het management rekening mee kunnen houden.

Naast de continue meting worden er per veehouderij/onderzoekslocatie minimaal zes discontinue metingen met de standaard referentiemethode (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 en omstandigheden zoveel mogelijk af te dekken.

- De SRM ter bepaling van ammoniakconcentraties in een luchtmonster is de natchemische methode met als uitgangspunt de normen NEN-EN-ISO 21877:2019, NEN 2826:1999 en LUC methode LUC/III/003. Opvallend is dat er in Nederland twee NEN-normen bestaan voor de bepaling van de ammoniakconcentratie in een luchtmonster. Daarbij is de NEN 2826:1999 reeds circa 25 jaar oud en is de beoogd opvolger van deze relatief oude norm, de NEN-EN-ISO 21877:2019, nog niet volledig definitief. De twee normen verschillen in een aantal aspecten. Voor metingen van veehouderij-emissies wordt voor die aspecten de volgende keuze gemaakt. De waarde van veldblanco's moet onder de detectielimiet blijven. De waarde van veldblanco's mag niet worden afgetrokken van het meetresultaat.
- De eis van gekoeld transport en opslag van monsters is mogelijk vanuit algemene goede laboratoriumpraktijken, maar is voor veehouderij-emissies niet noodzakelijk.
- Luchtconcentraties van ammoniak worden uitgedrukt bij actuele condities van temperatuur, druk en vocht.

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 waarin ammoniak makkelijk absorbeert. Als standaard waarde wordt in de normen 0,1 M zwavelzuur (H_2SO_4) beschreven. Bij absorptie van ammoniak in de vloeistof wordt dan ammoniumsulfaat $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ gevormd. Omdat in stallen normaliter geen NO_x wordt geproduceerd is ook salpeterzuur (HNO_3) geschikt. Bij absorptie van ammoniak in de vloeistof wordt dan ammoniumnitraat (NH_4NO_3) gevormd. De sterkte van het zuur moet bepaald worden

op basis van het verwachte concentratieniveau en de monsternameduur. Meerdere na elkaar geschakelde flessen met zure oplossing garanderen een maximale absorptie-efficiëntie. Op basis van de hoeveelheid lucht dat door de gaswasflessen is geborreld (flow) en de ammoniumconcentratie in de oplossing, wordt de ammoniakconcentratie in het luchtmonster bepaald. Voor het bepalen van de flow zijn er twee mogelijkheden. De eerste is dat de flow per serie flessen continu wordt gemeten met een gasteller/gasflowmeter. De tweede optie is dat de flow per serie flessen wordt gemeten aan het begin en aan het einde van de monstername waarna de gemiddelde waarde van beide wordt gebruikt. De inhoud van meerdere gaswasflessen kan worden samengevoegd voor de analyse, met uitzondering van de laatste fles. De maximaal toegelaten meetwaarde (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. Als de meetwaarde in de laatste fles hoger is dan voornoemd criterium moet de meting worden afgekeurd als zijnde invalide.

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 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. Op dit moment is VITO in België de organisatie die ringtesten organiseert.
- Bij deelname aan ringtesten moeten personeel en apparatuur worden geroteerd om te voorkomen dat vooral nieuwere apparatuur en ervarener personeel wordt ingezet; dit om tot een representatief beeld van de praktijk te komen.
- Metingen moeten in duplo worden uitgevoerd.
- Het nemen van een veldblanco is verplicht (één per monstername-/staalnamedag).
- Direct voor aanvang van elke meting dient een lekttest te worden uitgevoerd op elke monsternametrein. De lekttest bestaat eruit de opening van de monsternameslang af te sluiten en de luchtpomp gedurende twee minuten te laten zuigen aan de gehele monsternametrein (slang, overgangsdelen, wasflessen). Met een gasteller/flowmeter moet de flow rate worden gemeten. De gemeten flow rate mag niet meer bedragen dan 2% van de nominale waarde.

A7.3 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 lucht met geurstoffen uit stallen wordt in luchtzakken bemonsterd en naar een geurlaboratorium vervoerd. In het geurlaboratorium wordt de stallucht met behulp van een zogenoemde olfactometer (verdunningsapparaat) in afnemende mate van verdunning aangeboden aan een geurpanel bestaande uit minimaal 4 panelleden die moeten proberen onderscheid te maken met (tevens aangeboden) geurvrije lucht. 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 m³ lucht die door de helft van het geurpaneel met zekerheid 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/m³ (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 kalibratielijng gebaseerd op n-butanol.

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 aanbidding van geurverdundingen 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:

- Het materiaal van de monsterleidingen moet voldoen aan de eisen gesteld in NEN-EN 13725:2022.
- Monsternamleidingen moeten verwarmd en geïsoleerd worden wanneer kans bestaat op condensvorming. Er mag geen condensvorming optreden in de monsternamleiding 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 monsternamleiding 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 waarbij de snelheid is afgestemd op het monsterzakvolume en de monsternameduur. Gedurende de gehele procedure wordt verstoring van dieren in de stal zoveel mogelijk vermeden. Aan het eind van de monsternam wordt het uiteinde van het aanzuigpunt luchtdicht afgesloten.
- Gedurende de gehele periode van monsternam 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 monsternam 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.
- De detectielimiet van de analyse moet minimaal 50 OU_E/m³ bedragen.

Toelichtend kader: problematiek rond geurconcentratiemetingen

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 H₂S 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 H₂S. In een studie van het Duitse ringtest-instituut voor geurconcentraties (Kassel) gebaseerd op een meta-analyse van data van 116 geurlaboratoria afkomstig uit de periode 2016-2022, werd geconcludeerd dat de panelgevoeligheid voor n-butanol niet gecorreleerd is met andere onderzochte geuren en geurmengsels (Antonsson et al. 2024), en dat de reproduceerbaarheid van EN-13725 niet wordt verbeterd door selectie op n-butanol.

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 aanbestedingsprocedure 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 rendementsmetingen 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.

A7.4 Methaan (CH₄), lachgas (N₂O) en koolstofdioxide (CO₂)

Voor de continue doormeting van de stalemissies van CH₄ (en CO₂) 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'. Anders dan bij continue emissie monitoring in het kader van doelvoorschriften krijgt de veehouderij/onderzoekslocatie echter geen

toegang tot monitoringsdata. Immers bij toepassing van resultaten voor een algemene erkenning zullen veehouders hier evenmin over beschikken en dus binnen het management rekening mee kunnen houden.

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.

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.

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)). De chromatografische pieken moeten 'baseline separated' zijn.

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. Als 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 (Certified Reference Mixture; CRM). 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.

A7.5 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 (µg/m³, mg/m³); niet op deeltjesconcentraties (#/L).

Niet-isokinetische meetcondities moeten zo veel mogelijk worden voorkomen of geminimaliseerd door monsternamepunten zodanig ten opzichte van gevelventilatoren of dakkokers 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 gevels (bijvoorbeeld pluimveestallen) moeten bemonsteringspunten, met gebruik van een luchtsnelheidsmeter, op voldoende horizontale afstand bovenstrooms van de ventilatoren te worden geplaatst om aan het < 2 m/s criterium te voldoen. In stallen met ventilatie via dakkokers 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. Concentraties van (fijn)stof kunnen ook in een luchtkanaal (zoals het centrale ventilatiekanaal van varkensstallen) worden bemonsterd. Hiervoor is isokinetische stofmonstername vereist. De monstername moet dan plaats vinden volgens NEN-EN 13284-1:2017. 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 een gravimetrische 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 en zo laminair mogelijk te zijn.
- Metingen moeten in duplo worden uitgevoerd.
- Voor metingen van de uitgaande lucht moeten cycloonvoorafscidders gebruikt worden in plaats van impactorkoppen om overbelading (en dus overschatting van de fractie) te voorkomen. Voor metingen van 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 ≤ 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 moet een precisiebalans gebruik worden met een resolutie van maximaal 10 µg;
- de gebruikte balans moet jaarlijks gekalibreerd worden onder NEN-EN-ISO/IEC 17025:2018;
- voor elk gebruik moet de balans gecontroleerd worden door gebruik te maken van een gecertificeerd ijkgewicht. Deze resultaten moeten worden geregistreerd;
- filters moeten voor weging steeds minimaal 48 uur geacclimatiseerd worden bij $T = 20 \pm 1$ °C en $RV = 50 \pm 5\%$. Hier zijn de instellingen uit de eerdere NEN-EN 12341:2014 gehandhaafd, om een trendbreuk te voorkomen. De temperatuur en relatieve vochtigheid tijdens acclimatisatie moet worden gelogd. Het is niet toegestaan filters te conditioneren door oven-droging;
- filters moeten vier keer evenredig verspreid over twee opeenvolgende werkdagen gewogen te worden. Het gemiddelde van deze vier wegingen is het gewicht van het filter. De standaarddeviatie tussen de vier wegingen mag maximaal 0,0005 g zijn. Vanwege de doorgaans hoge belading van filters, zijn criteria uit de NEN-EN 12341 hier niet toepasbaar;
- filters moeten tussen de wegingen door steeds bewaard 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.

A7.6 Bioaerosolen

Binnen emissieonderzoek kunnen verschillende soorten micro-organismen en componenten van micro-organismen van belang zijn. Daarom is het niet eenvoudig om te bepalen wat er gemeten moet worden. Het hangt namelijk af van het doel van het onderzoek. Is het onderzoek gericht op een bepaalde ziekteverwekker of meer op het geven van algemene gegevens over emissies van micro-organismen. In het eerste geval is het duidelijk dat bij voorkeur de ziekteverwekker zelf wordt gemeten. Het kan echter vaak zo zijn dat deze ziekteverwekker op het moment van de metingen niet aanwezig is of dat de ziekteverwekker zo besmettelijk is dat een bezoek aan een dergelijke bedrijfslocatie niet gewenst is. In dat geval kan het de voorkeur hebben om een micro-organisme te meten dat een goed model is voor de ziekteverwekker die bestudeerd moet worden. In het tweede geval zijn algemene gegevens over emissies van micro-organismen vereist. Het is dan zaak om enkele belangrijke 'model'-micro-organismen te selecteren. Deze modelmicro-organismen moeten in de stal aanwezig zijn in detecteerbare hoeveelheden. Vaak is het lastig om individuele pathogenen in detecteerbare (kweekbare) niveaus te meten. In zo'n geval is het vaak wenselijk om groepen micro-organismen te meten. Voor bacteriën worden bijvoorbeeld de volgende hoofdgroepen vaak geanalyseerd in (lucht)monsters uit stallen:

- Totaal aantal bacteriën (totaal kiemgetal);
- Grampositieve bacteriën en Gramnegatieve bacteriën;
- *Enterococcus*: een belangrijk geslacht van de Grampositieve bacteriën (bijv. *E. faecalis*);
- *Enterobacteriaceae*: een grote familie van de Gramnegatieve bacteriën (bijv. *E. coli*, *Salmonella spp.*);
- *Staphylococcus*: ook een geslacht van Grampositieve bacteriën. Deze groep omvat de Methicilline-resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA).

Veel virussen zijn alleen in detecteerbare hoeveelheden aanwezig tijdens een infectie met het virus. Sommige virussen zijn echter regelmatig aanwezig in veestallen, zoals somatische colifagen (alle diercategorieën) (Heijnen, 2011), hepatitis-E (voornamelijk bij varkens; (Wang et al., 2002)), IB-virus (bij pluimvee) en influenzavirus (bij varkens). Deze wijdverspreide virussen kunnen worden gebruikt als 'model'-virus in stallen.

Voor de gezondheid van de mens zijn ook enkele microbiële componenten van belang. De belangrijkste biologische componenten in de lucht die uit veestallen wordt uitgestoten, zijn:

- lipopolysaccharide (LPS) oftewel endotoxine: een component van het buitenmembraan van Gramnegatieve bacteriën;
- lipoteichoïnezuur (LTA): een belangrijk bestanddeel van de celwand van Grampositieve bacteriën;
- bètaglucanen: aanwezig in bepaalde schimmels, bacteriën en in planten.

Bij gebruik van de polymerase chain reaction (PCR) techniek kunnen micro-organismen in veel lagere concentraties worden gedetecteerd. Deze techniek bewijst echter alleen de aanwezigheid en met realtime-

PCR (RT-PCR) ook de hoeveelheid van een micro-organisme, maar niet of deze micro-organismen levend of dood zijn.

A8 Dataverwerking en -analyse

A8.1 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 moeten in het meetrapport worden opgenomen, en de reden voor exclusie beargumenteerd.

A8.2 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.

De meet-/loggingsfrequentie voor continue metingen van concentraties bedraagt minimaal eens per uur. Het is mogelijk om een zogenaamde meetpuntschakelaar in te zetten. Bij een meetpuntschakelaar wordt lucht aangezogen vanuit meerdere bemonsteringspunten (bijvoorbeeld meerdere afdelingen in een stal), via afzonderlijke monsternamelingen per monsternamelpunt, naar een centrale plaats waar de meting plaats vindt. De diverse monsternamelingen lopen door de meetschakelaar. De meetschakelaar is geplaatst vóór de meetmethode. De meetschakelaar "schakelt" welk monsternamelpunt gedurende een ingestelde tijdsperiode langs of door de meetmethode wordt gevoerd. Na een schakelmoment verandert de concentratie van het voorgaande monsternamelpunt naar de concentratie van het nieuw geschakelde monsternamelpunt. Stabilisatie van de nieuwe concentratie kan enige tijd duren, vooral wanneer van een lage naar een hoge concentratie wordt geschakeld, of vice versa. De meetduur per monsternamelpunt duurt minimaal T90 + 1 minuut. De data van de stabilisatieperiode (T0 tot T90) wordt niet gebruikt ter bepaling van de concentratie. Na het T90 punt bedraagt de meetduur minimaal een minuut. Er moet worden voorkomen dat een monsternamelpunt altijd op hetzelfde tijdstip wordt bemeaten waardoor monsternamelpunt verstrengeld zou raken met momenten op de dag en de dan geldende emissie en omstandigheden.

De data van een dag is valide als voor tenminste 80% van de uren in die dag (minimaal 19 van de 24 uren) een valide waarde is verkregen. Dagen met minder dan 19 uren aan valide emissiedata worden geëxcludeerd voor verdere dataverwerking en gelden als dagen met een ontbrekende emissiewaarde.

Voor het berekenen van de totale emissie moet voor tenminste 80% van de effectieve onderzoeksperiode (exclusief leegstandperioden of downtime van de interventie) valide data zijn verkregen. In de rapportage wordt het percentage van de onderzoeksperiode vermeld waarvoor data van technisch geslaagde metingen zijn verkregen alsook 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 24-uursmetingen bruikbaar zijn;
- wordt in de rapportage de redenen voor het ontbreken van bruikbare data bij minder dan zes bruikbare 24-uursmetingen 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).

A8.3 Berekening emissie bij proefopzetten 1a, 1b, 2 en 3

De emissie (E) van **ammoniak** van de case en 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} ; mg/m³) die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie (C_{inijk} ; mg/m³) zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} \text{ (kg/jaar per dier)} = Q_{ijk} * (C_{uitijk} - C_{inijk}) * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} * \frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} \quad (5)$$

De emissie (E) van **geur** van de case en 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} ; OU_E/m³) zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} \text{ (OU}_E\text{/s per dier)} = Q_{ijk} * C_{uitijk} * \frac{1 \text{ uur}}{3600 \text{ seconden}} \quad (6)$$

De emissie (E) van **methaan en lachgas** van de case en 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} ; mg/m³) die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie (C_{inijk} ; mg/m³) zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} \text{ (g/jaar per dier)} = Q_{ijk} * (C_{uitijk} - C_{inijk}) * \frac{1 \text{ g}}{10^3 \text{ mg}} * \frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} \quad (7)$$

De emissie (E) van **inhaleerbaar stof (PM₁₀₀) en fijnstof (PM₁₀, PM_{2,5})** van case en 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} ; µg/m³) die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie (C_{inijk} ; µg/m³) zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} \text{ (g/jaar per dier)} = Q_{ijk} * (C_{uitijk} - C_{inijk}) * \frac{1 \text{ g}}{10^6 \text{ µg}} * \frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} \quad (8)$$

Het **moment k** is in bovenstaande formules een tijdseenheid van een uur. Wanneer moment k echter een tijdseenheid van een dag betreft, dan moet het ($\frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}}$)-deel in de formules achterwege worden gelaten.

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. Dat wil zeggen: wanneer het ventilatiedebiet en de concentratie beide zijn gemeten op uurniveau wordt de emissie berekend op uurniveau en daarna gemiddeld over de 24 uurwaarden. Wanneer beide zijn gemeten op dagniveau wordt de emissie berekend op dagniveau. Wanneer één van beide is gemeten op uurniveau en de ander op dagniveau wordt de variable op uurniveau gemiddeld naar dagniveau, daarna wordt de emissie berekend op dagniveau.

De **overallgemiddelde emissiereductie** (ER_{case} ; %) van de 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:

$$ER_{case_locatie}; \% = \frac{\bar{E}_{control} - \bar{E}_{case}}{\bar{E}_{control}} * 100 \quad (9)$$

Hierna worden de relatieve reducties van de locaties gemiddeld tot de overallgemiddelde 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 (Omgevingsregeling, bijlage V, HD 5.100) met een emissiefactor van 3,0 kg/jaar per dierplaats, dan wordt de absolute emissie van de case (E_{case}) bepaald volgens:

$$E_{case} = \frac{ER}{100} * 3,0 \quad (10)$$

A8.4 Berekening emissie bij proefopzet 4

De emissie (E) van **ammoniak** van 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_{uitijk} ; mg/m³) die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie (C_{inijk} ; mg/m³) zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} \text{ (kg/jaar per dier)} = Q_{ijk} * (C_{uitijk} - C_{inijk}) * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} * \frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} \quad (11a)$$

$$E_{ijk} \text{ (kg/jaar per dierplaats)} = Q_{ijk} * (C_{uitijk} - C_{inijk}) * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} * \frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} * \frac{n_{dierenijk}}{n_{dierplaatsenij}} \quad (11b)$$

De emissie (E) van **geur** van 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_{uitijk} ; OU_E/m³) zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} \text{ (OU}_E\text{/s per dier)} = Q_{ijk} * C_{uitijk} * \frac{1 \text{ uur}}{3600 \text{ seconden}} \quad (12a)$$

$$E_{ijk} \text{ (OU}_E\text{/s per dierplaats)} = Q_{ijk} * C_{uitijk} * \frac{1 \text{ uur}}{3600 \text{ seconden}} * \frac{n_{dierenijk}}{n_{dierplaatsenij}} \quad (12b)$$

De emissie (E) van **methaan en lachgas** van 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_{uitijk} ; mg/m³) die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie (C_{inijk} ; mg/m³) zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} \text{ (g/jaar per dier)} = Q_{ijk} * (C_{uitijk} - C_{inijk}) * \frac{1 \text{ g}}{10^3 \text{ mg}} * \frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} \quad (13a)$$

$$E_{ijk} \text{ (g/jaar per dierplaats)} = Q_{ijk} * (C_{uitijk} - C_{inijk}) * \frac{1 \text{ g}}{10^3 \text{ mg}} * \frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} * \frac{n_{dierenijk}}{n_{dierplaatsenij}} \quad (13b)$$

De emissie (E) van **inhaleerbaar stof (PM₁₀₀) en fijnstof (PM₁₀, PM_{2,5})** van 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_{uitijk} ; µg/m³) die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie (C_{inijk} ; µg/m³) zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} \text{ (g/jaar per dier)} = Q_{ijk} * (C_{uitijk} - C_{inijk}) * \frac{1 \text{ g}}{10^6 \text{ µg}} * \frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} \quad (14a)$$

$$E_{ijk} \text{ (g/jaar per dierplaats)} = Q_{ijk} * (C_{uitijk} - C_{inijk}) * \frac{1 \text{ g}}{10^6 \text{ µg}} * \frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}} * \frac{365 \text{ dagen}}{1 \text{ jaar}} * \frac{n_{dierenijk}}{n_{dierplaatsenij}} \quad (14b)$$

Het **moment k** is in bovenstaande formules een tijdseenheid van een uur. Wanneer moment k echter een tijdseenheid van een dag betreft, dan moet $\frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}}$ in de formules achterwege worden gelaten.

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. Dat wil zeggen: wanneer het ventilatiedebiet en de concentratie beide zijn gemeten op uurniveau wordt de emissie berekend op uurniveau en daarna gemiddeld over de 24 uurwaarden. Wanneer beide zijn gemeten op dagniveau wordt de emissie berekend op dagniveau. Wanneer één van beide is gemeten op uurniveau en de ander op dagniveau wordt de variabele op uurniveau gemiddeld naar dagniveau, daarna wordt de emissie berekend op dagniveau.

Door vermenigvuldiging met de ratio tussen het aantal aanwezige dieren en het aantal dierplaatsen ($* \frac{n_{dierenijk}}{n_{dierplaatsenij}}$) in formules 11b, 12b, 13b en 14b wordt de emissie per dier omgerekend naar een emissie per dierplaats. Merk op dat het aantal dieren kan verschillen per moment (k) terwijl het aantal dierplaatsen doorgaans een in de tijd vaste waarde is voor een proefeenheid.

De **overallgemiddelde 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 **overallgemiddelde emissie van geur** wordt berekend door eerst van alle waarnemingen (E_{ijk}) de natuurlijke logaritmische (Ln) 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 (voor ammoniak, methaan, lachgas, inhaleerbaar stof en fijnstof) of mediaan (voor geur) als **centrummaten** worden ook **spreidingsmaten** (minimum, maximum en standaardafwijking per bedrijf; standaardafwijking tussen bedrijfsgemiddelden) bepaald en opgenomen in de rapportage. Van de overallgemiddelde emissie (dat wil zeggen: het gemiddelde van de locatiegemiddelden (\bar{E}_{ij})) wordt de mate

van **precisie** waarmee het overallemiddel is bepaald geïllustreerd door 70-, 80-, 90-, 95- en 99%-betrouwbaarheidsintervallen te berekenen en te rapporteren (zie voor de uitwerking van de berekening van een betrouwbaarheidsinterval par. A8.6).

A8.5 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.

A8.6 Standarisatie ammoniakemissies melkkoeien

Ogink et al. (2014) rapporteren de resultaten van een analyse die uitgevoerd is om te bepalen of ammoniakemissies bij bedrijven met melkkoeien 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 standarisatie van de emissies in de database (uit de verschillende meetrapporten) worden de volgende gemiddelde niveaus en effecten voor omgevingsfactoren toegepast:

Factor	Gemiddelde niveau	Effect
Buitemperatuur	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 ($\ln E_g$) berekend;
- vervolgens wordt de standaardisatie naar gemiddelde niveaus voor buitentemperatuur (T_{buiten}) en melkureumgehalte (MUG) uitgevoerd:

$$\ln E_g - \frac{1,5}{100} * (T_{buiten} - 10,5) - \frac{2,5}{100} * (MUG - 23) \quad (15)$$

- daarna worden de emissies op normaal-schaal teruggerekend:

$$e^{(\ln E_g - \frac{1,5}{100} * (T_{buiten} - 10,5) - \frac{2,5}{100} * (MUG - 23))} \quad (16)$$

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

$$E_{st} = \left[e^{(\ln E_g - \frac{1,5}{100} * (T_{buiten} - 10,5) - \frac{2,5}{100} * (MUG - 23))} \right] * \left[1 + \frac{2,8}{100} * (4,5 - OPPV) \right] \quad (17)$$

A8.7 Statistische evaluatie emissie-effect interventie

Proefopzetten 1 t/m 3 zijn gebaseerd op het case-control vergelijkingsprincipe en gebaseerd op het vaststellen van een interventie-effect ten opzichte van de emissie van een referentiestal. Afhankelijk van de gekozen proefopzet zijn daarvoor minimaal 2 t/m 6 onderzoeklocaties benodigd. De statistische evaluatie van het interventie-effect is gericht op het vaststellen van een betrouwbaarheidsinterval van het interventie-effect. Gemeten effecten zullen in meer of mindere mate verschillen tussen onderzoeklocaties. Omdat het aantal onderzoeklocaties in proefopzetten 1 t/m 3 beperkt is (minimaal 2 voor proefopzet 1) levert dit weinig informatie op over de bijdrage van variatie tussen locaties. Hierdoor wordt het betrouwbaarheidsinterval rond de gemiddelde reductie zeer breed. Het is daarom toegestaan de te verwachten omvang van deze variatie uit eerdere case-control metingen te schatten en te gebruiken in de berekening van het betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde reductie van de interventie. Het inzicht in de omvang van deze spreiding is nog beperkt en moet nader onderzocht worden. De statistische evaluatie van proefopzetten 1 t/m 3 wordt in de volgende versie nader uitgewerkt.

Proefopzet 4 is gebaseerd op het vaststellen van een absoluut overall-gemiddeld emissieniveau over de locatiegemiddelde emissies van minimaal 4 onderzoeklocaties. De statistische evaluatie van het overall-gemiddelde emissieniveau vindt plaats door het berekenen van een 95%-betrouwbaarheidsinterval (95%-BI) volgens:

$$\bar{E}_{ij} \pm t_{(\alpha; v=n-1)} * SE \quad (18)$$

met:

- \bar{E}_{ij} = de overallemiddelde emissie over de locatiegemiddelden van de j bedrijfslocaties met interventie i ;
- t = de waarde uit de Student's t verdeling bij onbetrouwbaarheid α (deze bedraagt 0,05 voor een 95%-BI) en v vrijheidsgraden ($v = n - 1$);
- n = het aantal bemeeten bedrijfslocaties (het aantal locatiegemiddelden);
- SE = de standard error (standaardfout) van het overallemiddelde. Deze wordt berekend door de standaarddeviatie (SD) over de bedrijfsgemiddelden te delen door de wortel uit het aantal bedrijfslocaties, oftewel: SD/\sqrt{n} .

Het 95%-BI wordt zowel uitgedrukt op de absolute schaal (volgens bovenstaande formule) als op relatieve schaal waarbij het getal $\pm(t_{(\alpha; v=n-1)} * SE)$ wordt uitgedrukt als percentage van de overall gemiddelde emissie \bar{E}_{ij} .

Eenvoudig kan nu worden getoetst of de overallemiddelde emissie statistisch significant verschilt tussen interventies danwel tussen interventie en referentiesysteem door te kijken of hun absoluut uitgedrukte 95%-

betrouwbaarheidsintervallen overlappen. Wanneer deze overlappen verschilt de overallemiddelde emissie van de interventies niet statistisch significant. Wanneer deze niet overlappen verschilt de overallemiddelde emissie van de interventies statistisch significant.

A8.8 Bepaling meetonzekerheid

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

In bijlage A3 is een voorbeeld opgenomen 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 een emissiecijfer bestaat uit onzekerheid t.a.v. de bemonstering, onzekerheid t.a.v. de ventilatiedebietmeting en onzekerheid t.a.v. de meting van de concentratie van de emitterende stof. Beoogd wordt dit rapport in de toekomst aan te vullen met meer informatie over de bepaling van alle vormen van onzekerheid.

A9 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.
- de proefopzet, 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);
- of, en zo ja welke, metingen onder accreditatie zijn uitgevoerd.

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 alsook 70-, 80-, 90-, 95- en 99%-betrouwbaarheidsintervallen voor de overall gemiddelde emissie over bedrijven heen; dit 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 moeten 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

Landbouwkundige randvoorwaarden			
	Categorie: Melkveehouderij	Subcategorie: Melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar	Datum: November 2024
Huisvesting	<p>In de melkveestal waarin de metingen plaatsvinden kunnen naast de lacterende dieren tevens droogstaande melkkoeien en jongvee worden gehuisvest onder de hierna genoemde voorwaarden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Het aantal droogstaande dieren mag gedurende de metingen niet meer dan 20% van het aantal melkkoeien (droogstaand plus melkgevend) bedragen. - Jongvee dat groot genoeg is voor huisvesting in ligboxen voor volwassen dieren, mag eveneens in de melkveestal gehouden worden. Het aantal stuks jongvee mag gedurende de metingen niet meer dan 20% van het totale aantal melkkoeien (melkgevend en droogstaand) bedragen. <p>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.. De melkgevende dieren worden in de meetstal gemolken. Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217) in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 5. Houden van runderen voor productie". Voor iedere koe dient er een ligplaats te zijn.</p> <p>Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)</p>		
Klimaat	De koeien worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de stal op dierniveau onder de 2.000 ppm blijft		
Voeding	De drogestofopname moet voor minimaal 80% uit ruwvoer bestaan en minimaal 150 g RE/kg drogestof bevatten. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Productie	Voor een gangbaar bedrijf dient de gemiddelde melkgift minimaal 25 kg meetmelk/koe/dag te zijn. Voor een biologisch bedrijf dient de gemiddelde melkgift minimaal 18 kg meetmelk/koe/dag te zijn. Voor beide geldt dat het tankmelkureumgetal minimaal 15 mg/100 mL dient te zijn		
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 5. Houden van runderen voor productie". De dieren op een gangbaar bedrijf krijgen standaard veterinaire zorg. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Aantal dieren	Het aantal melkgevende en droogstaande koeien dient minimaal 30 zijn, of 15 melkgevende in geval van een case-control onderzoeksopzet		
Registratie	<p><i>Tijdens de metingen en minimaal 4 weken voorafgaand aan de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rantsoensamenstelling (minimaal: DS %, RE totaal, VEM, DVE, OEB en EF-CH4) van het TMR (total mixed ration) of de individuele voercomponenten van de lacterende koeien, droogstaande koeien, drachtig jongvee en niet-drachtig jongvee (indien aanwezig in de meetstal) - Ureumgetal van de melk (tankureumgetal) - Aantal melkkoeien, droogstaande koeien, drachtig jongvee en niet-drachtig jongvee op dagniveau <p><i>Tijdens de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Mestpeil (cm; afstand kelderbodem - mestoppervlak) en aanwezige mestvolume (m³) in de mestkelder. Frequentie: maandelijks én voorafgaand aan en na afloop van het verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - Datum, tijdstip (start- en eindtijd) en methode van (drijf)mest mixen - Datum en tijdstip (start- en eindtijd) van verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - CO₂-concentratie, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid in de stal - De wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen 		

Landbouwkundige randvoorwaarden			
	Categorie: Vleeskalveren tot 8 maanden	Subcategorieën: Blankvlees- en rosévleesproductie	Datum: November 2024
Huisvesting	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 5. Houden van runderen voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij). Op de meetlocatie dient huisvesting volgens het 'all in all out' systeem plaats te vinden		
Klimaat	De vleeskalveren worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de stal op dierniveau onder de 3.000 ppm blijft. Bij mechanisch geventileerde afdelingen dient tenminste een ventilatiecapaciteit per dierplaats geïnstalleerd te zijn van 150 m ³ /uur voor blankvleeskalveren en 200 m ³ /uur voor rosévleeskalveren		
Voeding	De frequentie en manier van voeren en drenken, en de aard van de voeding en het drinken, dient te voldoen aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 5. Houden van runderen voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).		
Productie	Blankvleesproductie (gangbaar): groeitraject 47 – circa 271 kg levend eindgewicht, groeiperiode circa 190 dagen (KWIN, 2024-2025). Rosévleesproductie (gangbaar; oud): groeitraject 110 – circa 380 kg levend eindgewicht, mestperiode circa 205 dagen tot een maximum leeftijd van 8 maanden (KWIN, 2024-2025). De uitval gedurende een mestronde bedraagt niet meer dan 3% (blankvlees) of 2% (rosé).		
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er wordt voldaan aan de eisen het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 5. Houden van runderen voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Gegevens van behandelde dieren moeten volgens het geldende protocol in de sector (InfoKalf) te worden vastgelegd. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de afdeling waarin wordt gemeten dient minimaal 40 te zijn. Tijdens de metingen is maximaal 5% onderbezetting toegestaan.		
Registratie	<i>Tijdens de metingen:</i> <ul style="list-style-type: none"> - Datum en aantal aanwezige dieren - CO₂-concentratie, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid in de stal - Mestpeil (cm; afstand kelderbodem - mestoppervlak) en aanwezige mestvolume (m³) in de mestkelder. Frequentie: maandelijks én voorafgaand aan en na afloop van het verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - Datum en tijdstip (start- en eindtijden) van verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - Datum en aard van veterinaire behandelingen op koppelniveau - Voersamenstelling, voerverbruik, ruwvoerverbruik en waterverbruik - Technische resultaten op groepsniveau; start- en eindgewichten (kg), groei (kg/dier), groeisnelheid (gram/dier/dag) en uitval (%) - De wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen 		

Landbouwkundige randvoorwaarden			
	Categorie: Varkenshouderij	Subcategorie: Guste en drachtige zeugen	Datum: November 2024
Huisvesting	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 4. Houden van varkens voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Klimaat	De dieren worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft.		
Voeding	De frequentie en manier van voeren en drinken, en de aard van de voeding en het drinken, dient te voldoen aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 2. Houden van varkens voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Het voerschema is gemiddeld minimaal 2,5 Energiewaarde (EW) per dag en bevat minimaal 125 g ruw eiwit (RE)/EW. Tenzij onderdeel van de onderzochte interventie worden er geen diervoedertoevoegingsmiddelen of andere voeraanpassingen toegepast die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Productie	Onder de genoemde klimaat- en voedingsvoorwaarden moet het gemiddelde aantal grootgebrachte biggen minimaal 26 per zeug per jaar zijn (op bedrijfsniveau) voor een gangbaar bedrijf en 19 per zeug per jaar (op bedrijfsniveau) voor een biologisch bedrijf		
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er wordt voldaan aan de eisen het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 4. Houden van varkens voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217) . Het percentage uitval (sterfte) mag niet hoger zijn dan 8% per jaar. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de afdeling waarin wordt gemeten dient minimaal 20 te zijn. Tijdens de metingen is maximaal 10% onderbezetting toegestaan.		
Registratie	<p><i>Tijdens de metingen en minimaal 4 weken voorafgaand aan de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Voersamenstelling, voergift, ruwvoergift en waterverbruik - Datum en aantal van aanwezige + ingaande en uitgaande zeugen <p><i>Tijdens de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Mestpeil (cm; afstand kelderbodem - mestoppervlak) en aanwezige mestvolume (m³) in de mestkelder. <p>Frequentie: maandelijks én voorafgaand aan en na afloop van het verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder</p> <ul style="list-style-type: none"> - Datum en tijdstip (start- en eindtijd) van verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - CO₂-concentratie, temperatuur en luchtvochtigheid van de lucht in de afdeling - Datum en aard van veterinaire behandelingen op koppelniveau - De wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen 		

Landbouwkundige randvoorwaarden			
	Categorie: Varkenshouderij	Subcategorie: Kraamzeugen (incl. biggen tot spenen)	Datum: November 2024
Huisvesting	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 4. Houden van varkens voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Klimaat	De dieren worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft.		
Voeding	De frequentie en manier van voeren en drinken, en de aard van de voeding en het drinken, dient te voldoen aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 2. Houden van varkens voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Voeding gebeurt volgens gangbare (CVB) normen en bevat minimaal 140 g RE/EW voor gangbare bedrijven en 150 g RE/EW voor biologische bedrijven. Tenzij onderdeel van de onderzochte interventie worden er geen diervoedertoevoegingsmiddelen of andere voeraanpassingen toegepast die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Productie	Minimaal 10 gespeende biggen per worp tijdens de metingen (omdat de voeropname afhankelijk is van het aantal zuigende biggen).		
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er wordt voldaan aan de eisen het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 4. Houden van varkens voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Het percentage uitval (sterfte) mag niet hoger zijn dan 8% per jaar. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de afdeling waarin wordt gemeten dient minimaal 6 (zeugen) te zijn.		
Registratie	<p><i>Van de kraamperiode voorafgaand aan de metingen en tijdens de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Datum en aantal van Aanwezige + ingaande en uitgaande dieren - Voersamenstelling, voergift, ruwvoergift en waterverbruik <p><i>Tijdens de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Mestpeil (cm; afstand kelderbodem - mestoppervlak) en aanwezige mestvolume (m³) in de mestkelder. <p>Frequentie: maandelijks én voorafgaand aan en na afloop van het verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder</p> <ul style="list-style-type: none"> - Datum en tijdstip (start- en eindtijd) van verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - CO₂-concentratie, temperatuur en luchtvochtigheid van de lucht in de afdeling - Datum en aard van veterinaire behandelingen op koppelniveau - De wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen 		

Landbouwkundige randvoorwaarden			
	Categorie: Varkenshouderij	Subcategorie: Biggenopfok (gespeende biggen)	Datum: November 2024
Huisvesting	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 4. Houden van varkens voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Klimaat	De dieren worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft.		
Voeding	De frequentie en manier van voeren en drinken, en de aard van de voeding en het drinken, dient te voldoen aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 2. Houden van varkens voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Voeding gebeurt volgens gangbare (CVB) normen en bevat minimaal 165 g RE/EW. Tenzij onderdeel van de onderzochte interventie worden er geen diervoedertoevoegingsmiddelen of andere voeraanpassingen toegepast die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Productie	Op gangbare bedrijven zijn de biggen circa 4-5 weken leeftijd (circa 8 kg) aan het begin van de ronde en circa 23-27 kg aan het einde van de ronde. De groei van de biggen bedraagt minimaal 310 g/dag. Op biologische bedrijven zijn de biggen circa 6 weken leeftijd (circa 10-14 kg) aan het begin van de ronde en circa 23-27 kg aan het einde van de ronde. De groei van de biggen bedraagt minimaal 300 g/dag. De verblijfsduur voor beide productiewijzen bedraagt circa 4-6 weken		
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er wordt voldaan aan de eisen het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 4. Houden van varkens voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Het percentage uitval mag niet hoger zijn dan 5% per ronde op afdelingsniveau. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de afdeling waarin wordt gemeten dient minimaal 40 te zijn met 10 tot 40 biggen per hok. Tijdens de metingen is maximaal 10% onderbezetting toegestaan. Beren en zeugen moeten ongeveer evenredig aanwezig zijn in de afdeling		
Registratie	<p><i>Tijdens de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Datum en aantal aanwezige + ingaande en uitgaande dieren - Voersamenstelling, voergift, ruwvoergift en waterverbruik - Technische resultaten op groepsniveau: start- en eindgewicht (kg/dier), groei (kg/dier), groeisnelheid (gram/dier/dag) en uitval (%) - De hoeveelheid verbruikt schoonmaakwater inclusief het restant in de mestput alsook toegepaste reinigingsmiddelen - Mestpeil (cm; afstand kelderbodem - mestoppervlak) en aanwezige mestvolume (m³) in de mestkelder. <p>Frequentie: maandelijks én voorafgaand aan en na afloop van het verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder</p> <ul style="list-style-type: none"> - Datum en tijdstip (start- en eindtijd) van verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - CO₂-concentratie, temperatuur en luchtvochtigheid van de lucht in de afdeling - Datum en aard van Veterinaire behandelingen op koppelniveau - De wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen 		

Landbouwkundige randvoorwaarden			
	Categorie: Varkenshouderij	Subcategorie: - Vleesvarkens - Opfokberen van ca. 25 kg tot 7 maanden - Opfokzeugen van ca. 25 kg tot eerste dekking	Datum: November 2024
Huisvesting	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 4. Houden van varkens voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).		
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	De frequentie en manier van voeren en drinken, en de aard van de voeding en het drinken, dient te voldoen aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 2. Houden van varkens voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Voeding gebeurt volgens gangbare (CVB) normen en bevat op gangbare bedrijven minimaal 160 g RE/EW voor startvoer (eerste maand) en 145 g RE/EW voor afmestvoer, op biologische bedrijven minimaal 170 g RE/EW voor startvoer (eerste maand) en 155 g RE/EW voor afmestvoer. Tenzij onderdeel van de interventie worden er geen diervoedertoevoegingsmiddelen of andere voeraanpassingen toegepast die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Productie	De groei van de vleesvarkens in het traject van circa 23 - 125 kg bedraagt minimaal 770 g/dier/dag voor gangbare bedrijven en minimaal 700 g/dier/dag voor biologische bedrijven. De verblijfsduur voor beide productiewijzen bedraagt circa 15-18 weken		
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er wordt voldaan aan de eisen het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 4. Houden van varkens voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217) . Het percentage uitval bedraagt maximaal 5% per ronde. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de afdeling waarin wordt gemeten dient minimaal 50 te zijn met 10 tot 40 dieren per hok. Tijdens de metingen is maximaal 10% onderbezetting toegestaan. In het geval van vleesvarkens moeten beren en zeugen ongeveer evenredig aanwezig zijn in de afdeling		
Registratie	<i>Tijdens de metingen:</i> - Datum en aantal aanwezige + ingaande en uitgaande dieren - Voersamenstelling, voergift, ruwvoergift en waterverbruik - Technische resultaten op groepsniveau: start- en eindgewicht (kg/dier), groei (kg/dier), groeisnelheid (gram/dier/dag) en uitval (%) - De hoeveelheid verbruikt schoonmaakwater inclusief het restant in de mestput alsook toegepaste reinigingsmiddelen - Datum en tijdstip (start- en eindtijd) van verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - CO ₂ -concentratie, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid in de lucht van de afdeling - Datum en aard van veterinaire behandelingen op koppelniveau - De wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen		

Landbouwkundige randvoorwaarden																							
	Categorie: Pluimveehouderij	Subcategorie: Legkippen	Datum: November 2024																				
Huisvesting	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden", "Paragraaf 6. Houden van pluimvee voor productie" en "Paragraaf 6.1.3. Houden van legkippen voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij). In een huisvestingssysteem met mestbanden wordt de bandenmest eens per 3-7 dagen afgedraaid, tenzij frequenter afdraaien onderdeel uitmaakt van de onderzochte interventie																						
Strooisel	Vloeren worden voorafgaand aan de binnenkomst van de dieren ingestrooid met houtkrullen, (gehakseld) stro of zand bij een laagdikte van minimaal 0,5 cm. Turf en snijmaïssilage mogen niet worden toegepast. Gedurende de metingen bedraagt de (mest)strooisellaagdikte tenminste 3 cm																						
Klimaat	De dieren worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de stal onder de 3000 ppm blijft.																						
Voeding	<p>Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden", "Paragraaf 6. Houden van pluimvee voor productie" en "Paragraaf 6.1.3. Houden van legkippen voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).</p> <p>De dieren krijgen een voer met minimaal de waarden vermeld in onderstaande tabel.</p> <table border="1"> <tr> <th>Leghennen</th><th>OE CVB (MJ)</th><th>vLYS (g)</th><th>v(M+C) (g)</th></tr> <tr> <td>Pre-leg, 17-19 weken</td><td>11,3</td><td>6,6</td><td>5,6</td></tr> <tr> <td>19 - 35 weken</td><td>11,8</td><td>6,8</td><td>6,1</td></tr> <tr> <td>35 - 55/60 weken</td><td>11,7</td><td>6,6</td><td>5,8</td></tr> <tr> <td>na 55/60 weken</td><td>11,6</td><td>6,4</td><td>5,7</td></tr> </table> <p>. Het voerverbruik per aanwezige legkip vanaf 20 weken dient minimaal 105 g per dier per dag te zijn.</p> <p>Tenzij onderdeel van de onderzochte interventie worden er geen diervoedertoevoegingsmiddelen of andere voeraanpassingen toegepast die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van, of ureum-/urinezuuruitscheiding via, urine of mest</p>			Leghennen	OE CVB (MJ)	vLYS (g)	v(M+C) (g)	Pre-leg, 17-19 weken	11,3	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
Leghennen	OE CVB (MJ)	vLYS (g)	v(M+C) (g)																				
Pre-leg, 17-19 weken	11,3	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																				
Water	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden", "Paragraaf 6. Houden van pluimvee voor productie" en "Paragraaf 6.1.3. Houden van legkippen voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij). Water wordt tijdens de lichtperiode onbeperkt verstrekt. De water/voerverhouding bedraagt 1,7 - 1,8. Er mogen geen wateradditieven worden gebruikt die mogelijk een pH verlagend effect hebben (zoals bijvoorbeeld organische zuren)																						
Productie	De eiproduktie bedraagt op jaarbasis minimaal 300 eieren/kip																						
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden", "Paragraaf 6. Houden van pluimvee voor productie" en "Paragraaf 6.1.3. Houden van legkippen voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij). Het uitvalpercentage bedraagt maximaal 10% over de volledige productieperiode.																						
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de stal waarin wordt gemeten dient minimaal 10.000 te zijn voor een praktijkbedrijf en 1000 voor een case-control proefopzet in een proeffaciliteit																						
Registratie	<p><i>Tijdens de metingen en tenminste vier weken voorafgaand aan de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Datum en aantal aanwezige dieren (aantal bij opzet minus uitval) - Voersamenstelling, voergift, waterverbruik - Aard en hoeveelheid van het verstrekken van stro(oisel) 																						

Landbouwkundige randvoorwaarden	
	<ul style="list-style-type: none"> - Technische resultaten op koppel- en weekniveau: gemiddeld diergewicht (kg), gemiddeld aantal eieren per dag, legpercentage (%), gemiddeld eigewicht (gram), uitval (%) <p><i>Tijdens de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Datum en tijdstip (begin- en eindtijd) van verwijderen van mest/strooisel uit de afdeling/stal - Datum en tijdstip van het afdraaien van mestbanden - CO₂-concentratie, temperatuur en luchtvochtigheid in de lucht van de stal - Strooiselmestlaagdikte (cm; representatief voor het totale strooiselvloeroppervlak) - Drogestofgehalte strooiselmest (maandelijks; stalrepresentatief mengmonster) - De wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen

Landbouwkundige randvoorwaarden					
	Categorie: Pluimveehouderij	Subcategorie: Vleeskuikens	Datum: November 2024		
Huisvesting	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan “Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden”, “Paragraaf 6. Houden van pluimvee voor productie” en “Paragraaf 6.1.2. Houden van vleeskuikens voor productie” (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij). Op een bedrijf met een productiewijze conform een concept of keurmerk worden de eisen van dat concept of keurmerk gevolgd				
Strooisel	Vloeren worden voorafgaand aan de binnenkomst van de dieren ingestrooid met houtkrullen (0,6 - 1,5 kg/m²), (gehakseld) stro (0,6 - 2,0 kg/m²) turf (0,6 – 1,5 kg/m²), vlas, stropellets en hennep. Snijmaissilage mag niet worden toegepast vanwege een ammoniakemissie reducerende werking				
Klimaat	De dieren worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO2-concentratie in de lucht van de stal onder de 3.000 ppm blijft				
Voeding	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan “Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden”, “Paragraaf 6. Houden van pluimvee voor productie” en “Paragraaf 6.1.2. Houden van vleeskuikens voor productie” (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij). Op een bedrijf met een productiewijze conform een concept of keurmerk worden de eisen van dat concept of keurmerk gevolgd.				
	Op een gangbaar bedrijf krijgen de vleeskuikens krijgen een voer conform de richtlijnen vermeld in onderstaande tabel (CVB-normen, 2018).				
		OE _{vik} (MJ/kg)	Ruw Eiwit (g/kg)	vLYS (g/kg)	v(M+C) (g/kg)
	Vleeskuiken starter (0 - 10 d.)	11,9	205 - 215	11,7	8,5
	Vleeskuikenvoer I (11 - 21 d.)	12,2	195 - 205	10,5	7,7
	Vleeskuikenvoer II (21 - 29 d.)	12,3	185 - 195	10,2	7,4
	Vleeskuikenvoer afmest (30 d. tot einde)	12,6	175 - 185	9,7	7,1
	Tenzij onderdeel van de onderzochte interventie worden er geen diervoedertoevoegingsmiddelen of andere voeraanpassingen toegepast die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van, of ureum-/urinezuuruitscheiding via, urine of mest				
Water	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan “Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden”, “Paragraaf 6. Houden van pluimvee voor productie” en “Paragraaf 6.1.2. Houden van vleeskuikens voor productie” (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Water wordt tijdens de lichtperiode onbeperkt verstrekt. De water/voerverhouding bedraagt 1,65 - 1,85. Er mogen geen wateradditieven worden gebruikt welke (mogelijk) een pH verlagend effect hebben (zoals bijvoorbeeld organische zuren)				
Productie	Op gangbare bedrijven moeten de dieren een eindgewicht hebben van gemiddeld minimaal 2400 gram op een leeftijd van maximaal 41 dagen.				
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan “Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden”, “Paragraaf 6. Houden van pluimvee voor productie” en “Paragraaf 6.1.3. Houden van legkippen voor productie” (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij). Voor een gangbaar bedrijf bedraagt het uitvalspercentage over de totale ronde bedraagt maximaal 5%				
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de stal waarin wordt gemeten dient minimaal 15.000 te zijn voor een praktijkbedrijf en 1000 voor een case-control proefopzet in een proeffaciliteit				
Registratie	Tijdens de rondes waarbinnen de metingen vallen: - Datum en aantal aanwezige dieren (aantal bij opzet minus uitval) - Voersamenstelling, voerverbruik, waterverbruik, watervoerverhouding - Aard en hoeveelheid van het verstrekken van stro(oisel)				

Landbouwkundige randvoorwaarden	
	<ul style="list-style-type: none"> - Technische resultaten op rondeniveau: begingewicht (g), eindgewicht (g), groei (g/dier), groeisnelheid (g/dier/dag), voerconversie, watervoerverhouding, uitval (%) - CO₂-concentratie, temperatuur en luchtvochtigheid in de lucht van de stal - Strooiselmestlaagdikte (cm; representatief voor het totale strooiselvloeroppervlak) - Drogestofgehalte strooiselmest (na 1/3^e, 2/3^e en einde van de ronde; een stalrepresentatief mengmonster) - CO₂-concentratie, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid in de lucht van de afdeling - Datum en aard van veterinaire behandelingen op koppelniveau - De wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen

Landbouwkundige randvoorwaarden			
	Categorie: Melkgeitenhouderij	Subcategorie: Geiten ouder dan 1 jaar	Datum: November 2024
Huisvesting	In de stal waarin de metingen plaatsvinden mogen naast de lacterende geiten tevens aflammende geiten aanwezig zijn. Opfokgeitjes, mestbokjes en dekbokken worden normaliter niet in de hoofdstal gehouden. Tenzij een alternatieve vloeruitvoering deel uitmaakt van de onderzochte interventie, bestaat de vloeruitvoering uit een (stro)pot. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).		
Klimaat	De geiten worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de stal op dierniveau onder de 3.000 ppm blijft in mechanisch geventileerde stallen en onder de 2.000 ppm in natuurlijk geventileerde stallen		
Voeding	Tenzij onderdeel van de onderzochte interventie worden er geen diervoedertoevoegingsmiddelen of andere voeraanpassingen toegepast die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH of ureumuitscheiding van urine of mest. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).		
Productie	Voor een gangbaar bedrijf moet de gemiddelde melkgift minimaal 2,2 kg/geit/dag zijn. Voor een biologisch bedrijf moet de gemiddelde melkgift minimaal 1,8 kg/geit/dag zijn		
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 7. Houden van schapen of geiten voor productie" (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217). De dieren op een gangbaar bedrijf krijgen standaard veterinaire zorg. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).		
Aantal dieren	Het aantal melkgevende en droogstaande geiten dient minimaal 200 te zijn		
Registratie	<p><i>Tijdens de metingen en minimaal 4 weken voorafgaand aan de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rantsoensamenstelling (minimaal: DS %, RE totaal, VEM, DVE, OEB en EF-CH₄) van het TMR (total mixed ration) of de individuele voercomponenten van de lacterende geiten - Aantal aanwezige lacterende geiten <p><i>Tijdens de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Per pot: de potdiepte (cm; afstand potbodem – stro-oppervlak) en aanwezige stromestvolume (m³). <p>Frequentie: maandelijks én voorafgaand aan en na afloop van het uitmesten van een stropot</p> <ul style="list-style-type: none"> - Datum, tijdstip (start- en eindtijd) en methode van uitmesten van stropotten - CO₂-concentratie, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid in de stal - 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 (*total heat*) productie van de dieren zoals die berekend kan worden met de formules gepubliceerd in CIGR (2002) en de conversiefactoren van *total heat* productie naar CO₂-productie zoals gepubliceerd in Tabel 6 in Pedersen et al. (2008). In algemene zin bestaan de formules in CIGR (2002) uit bijdragen voor de onderhoudsbehoefte en waar toepasselijk groei, de productie van melk of eieren, en dracht. De conversiefactoren uit Tabel 6 in Pedersen et al. (2008) worden gegeven voor het dier ("dierniveau") alsook voor het dier en de bijdrage van zijn mest ("stalniveau"). Pedersen et al. (2008) geven aan dat de bijdrage van mest maximaal 10% van de bijdrage van het dier bedraagt, mits er niet sprake is van een *deep litter* (stropot) systeem en de mest maximaal drie weken in de stal verblijft.

De conversiefactoren van *total heat* productie naar CO₂-productie zoals gepubliceerd in Tabel 6 in Pedersen et al. (2008) zijn als volgt (alle waarden in m³ CO₂/uur per hpu; **op stalniveau**):

Kalveren	0,170
Melkkoeien	0,200
Biggen	0,185
Vleesvarkens	0,200
Zeugen	0,180
Vleeskuikens < 0,5 kg	0,180
Vleeskuikens > 0,5 kg	0,185
Leghennen	0,180
Schapen	0,175

In de hierna volgende formules zijn de *total heat* naar CO₂ conversiefactoren ingebracht in de formules van CIGR (2002).

Melkrundvee

$$PCO_2 (\text{melkkoeien}) = 0,200 \times (5,6 m^{0,75} + 22 \times Y_1 + 1,6 \times 10^{-5} \times p^3)/1000$$

$$PCO_2 (\text{droogstaande koeien}) = 0,200 \times (5,6 m^{0,75} + 1,6 \times 10^{-5} \times p^3)/1000$$

$$PCO_2 (\text{drachtige pinken}) = 0,200 \times (7,64 m^{0,69} + Y_2 \times \left(\frac{23}{M} - 1\right) \times \left(\frac{57,27 + 0,302 \times m}{1 - 0,171 \times Y_2}\right) + 1,6 \times 10^{-5} \times p^3)/1000$$

$$PCO_2 (\text{pinken, niet drachtig}) = 0,200 \times (7,64 m^{0,69} + Y_2 \times \left(\frac{23}{M} - 1\right) \times \left(\frac{57,27 + 0,302 \times m}{1 - 0,171 \times Y_2}\right))/1000$$

$$PCO_2 (\text{kalveren}) = 0,170 \times (6,44 m^{0,70} + \left(\frac{13,3 \times Y_2 \times (6,28 + 0,0188 \times m)}{1 - 0,3 \times Y_2}\right))/1000$$

met:

PCO_2 = de productie van CO₂ (m³ CO₂/uur)

m = het gemiddelde gewicht van de dieren (kg)

p = de gemiddelde drachttijd (dagen in dracht)

Y_1 = de melkproductie (kg melk/dag/dier)

Y_2 = de groeisnelheid bij jongvee (kg/dag)

M = de energiewaarde van het voer (MJ/kg droge stof)

In de CIGR-rekenregels wordt een CO₂-productie aangenomen van 0,2 m³/uur/hpu (heat producing unit), inclusief de CO₂-productie (<10%) uit aanwezige mest, mits er geen sprake is van een diepstrooiselsysteem (een potstal) en de mest maximaal drie weken oud is.

De totale CO₂-productie van alle runderen in de stal (m³ CO₂/uur; bij een standaardtemperatuur van 20 °C) wordt bepaald als:

PCO_2 (alle runderen in de stal)

=

PCO_2 (melkkoeien) × aantal melkkoeien

+

PCO_2 (droogstaande koeien) × aantal droogstaande koeien

+

PCO_2 (drachtige pinken) × aantal drachtige pinken

+

PCO_2 (pinken, niet drachtig) × aantal niet drachtige pinken

Aangezien de staltemperatuur (t_{stal}) tijdens de metingen doorgaans afwijkt van 20 °C, moet er een correctiefactor worden toegepast om de werkelijke CO₂-productie in de stal te bepalen:

$$PCO_2 \text{ (gecorrigeerd)} = PCO_2 \text{ (alle runderen in de stal)} \times (1000 + 4 \times (20 - t_{stal})) / 1000$$

Voor het CO₂-productiemodel zijn een aantal productiegegevens nodig. Melkproductie en -samenstelling worden altijd gemeten en gerapporteerd. De andere benodigde parameters (diergewicht, dagen in dracht, en voor jongvee de energiewaarde van het voer en groeisnelheid), worden bij voorkeur op basis van metingen op de bedrijfslocatie vastgesteld. Wanneer deze niet beschikbaar zijn moeten de standaardwaarden van Tabel 1 voor het CO₂-productiemodel worden gebruikt.

Tabel A2-1 Standaardwaarden voor een aantal productiegegevens voor het CO₂-productiemodel.

Diercategorie	Lichaamsgewicht (kg)	Dagen in dracht (dagen)	Energiewaarde voer (MJ/kg ds)	Groeisnelheid (kg/dag)
Melkgevende en droge koeien				
- Holstein Friesian	650	160	--	--
- MRIJ	850	160	--	--
- Jersey	450	160	--	--
Drachtige pinken	400	140	10	0,6
Niet-drachtige pinken	250	--	10	0,6

Vleeskalveren

$$PCO_2 \text{ (vleeskalveren)} = 0,170 \times \left(7,64 m^{0,69} + Y_2 \times \left(\frac{23}{M} - 1 \right) \times \left(\frac{57,27 + 0,302 \times m}{1 - 0,171 \times Y_2} \right) \right) / 1000$$

met:

PCO_2 = de productie van CO₂ (m³ CO₂/uur)

m = het gemiddelde gewicht van de dieren (kg)

Y_2 = de groeisnelheid bij jongvee (kg/dag)

M = de energiewaarde van het voer (MJ/kg droge stof)

Melkgeiten

$$PCO_2 \text{ (melkgeiten)} = 0,175 \times (5,5 m^{0,75} + 13 \times Y_1)$$

met:

PCO_2 = de productie van CO₂ (m³ CO₂/uur)

m = het gemiddelde gewicht van de dieren (kg)

Y_1 = de melkproductie (kg melk/dag/dier)

Merk op dat Tabel 6 in Pedersen et al. (2008) geen conversiefactoren van *total heat* productie naar CO₂-productie bevat voor melkgeiten. Er is hier gekozen voor de waarde van 0,175 voor schapen.

Varkens

$$PCO_2 (\text{gespeende biggen}) = 0,185 \times (7,4 m^{0,66} + (1 - (0,47 + 0,003 \times m)) \times (n \times 7,4 m^{0,66} - 7,4 m^{0,66}))$$

$$PCO_2 (\text{vleesvarkens}) = 0,200 \times (5,09 m^{0,75} + (1 - (0,47 + 0,03 \times m)) \times (n \times 5,09 m^{0,75} - 5,09 m^{0,75}))$$

$$PCO_2 (\text{guste en dragende zeugen, beren en opfokvarkens}) = 0,180 \times (4,85 m^{0,75} + 8 \times 10^{-5} \times p^3 + 76 \times Y_2)$$

$$PCO_2 (\text{kraamzeugen}) = 0,180 \times (4,85 m^{0,75} + 28 \times Y_1)$$

met:

PCO_2 = de productie van CO₂ (m³ CO₂/uur)

m = het gemiddelde gewicht van de dieren (kg)

n = de dagelijkse energie inname via voer in (aantal keren de onderhoudsbehoefte)

p = de gemiddelde drachttijd (dagen in dracht)

Y_1 = de melkproductie (kg melk/dag/dier)

Y_2 = de groeisnelheid bij drachtige zeugen en gelten (kg/dag)

M = de energiewaarde van het voer (MJ/kg droge stof)

Pluimvee

$$PCO_2 (\text{vleeskuikens} \leq 0,5 \text{ kg}) = 0,180 \times 10,62 m^{0,75}$$

$$PCO_2 (\text{vleeskuikens} > 0,5 \text{ kg}) = 0,185 \times 10,62 m^{0,75}$$

$$PCO_2 (\text{leghennen}) = 0,180 \times (6,8 m^{0,75} + 25 \times Y_3)$$

Bij kooihuisvesting van leghennen wordt de factor 6,8 aangepast naar 6,28.

$$PCO_2 (\text{kalkoenen}) = 0,185 \times 9,86 m^{0,77}$$

Merk op dat Tabel 6 in Pedersen et al. (2008) geen conversiefactoren van *total heat* productie naar CO₂-productie bevat voor kalkoenen. Er is hier gekozen voor de waarde 0,185 voor vleeskuikens > 0,5 kg.

met:

PCO_2 = de productie van CO₂ (m³ CO₂/uur)

m = het gemiddelde gewicht van de dieren (kg)

Y_3 = de eiproductie (kg ei/dag)

Bijlage A3: voorbeeldberekening uitgebreide meetonzekerheid natchemische bepaling van ammoniak

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:

- Gasstroomsnelheid/debiet door de flessen (U_{gs})
- Herhaalbaarheid NH₃-concentratiemetingen (U_{dc})
- Bemonsteringstijd (U_t)
- Chemische analyses in het lab (reproduceerbaarheid labanalyses; U_{lab})
- Kalibraties (U_{kal})
- Interferenties (U_{interf})
- Adsorptie en desorptie in leidingen en monsternamesysteem (U_{ads})
- Flowmeter (U_{flow})
- 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:

$$F_g = \frac{F_g^{begin} + F_g^{einde}}{2} \quad (1)$$

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:

$$C_{NH_3} = \frac{C_{NH_3}^1 + C_{NH_3}^2}{2} \quad (2)$$

In Mosquera et al. (2019) worden de resultaten weergegeven van een analyse die uitgevoerd was om de nauwkeurigheid (herhaalbaarheid) van NH₃-concentratiemetingen met de natchemische methode (vergelijkbaarheid van resultaten tussen duplo's) te bepalen. Kleine verschillen tussen NH₃-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 NH₃-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 ($NH_3_{\text{werkelijk}} = a * NH_3_{\text{natchemisch}} + b$).

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 -concentratie metingen 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 **$U_{\text{interf}} = 0\%$** 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:

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

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

$$U_{\text{exp}} = k * U_{\text{gec}} \quad (4)$$

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).

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

Versie

Auteurs

B1 Inleiding

Dit deel wordt ingevuld in een toekomstige versie.

DEEL C: bepalen van emissies bij emissiemonitoring in het kader van doelsturing

Versie

November 2024

Auteurs

In alfabetische volgorde van achternaam

Julio Mosquera, WLR

Nico Ogink, WLR

Jan Vonk, WLR

Albert Winkel, WLR

C1 Inleiding

C1.1 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 emissiemonitoringssysteem 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 emissiemonitoring op te stellen.

C1.2 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.

C1.3 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 bemeaten in termen van meetstrategie en meetmethoden

Meetinstantie stelt onderzoeksrapportage op

DEEL C (emissiemonitoring)

= Focus op juistheid en zekerheid
≠ Focus op volledigheid

≠ Emissiegetal is stalspecifiek

Actoren en taken/verantwoordelijkheden
≠ - Producent afwezig
≠ - Veehouder is vergunningshouder
≠ - Meetinstantie verricht emissiemonitoring (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 bemeaten in termen van meetstrategie en meetmethoden

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

C1.4 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 of frequentiegeregelde werkventilatoren met registratie. Hieronder vallen veelal stallen voor vleeskalveren, pluimvee, varkens en (soms) melkgeiten;
- alle stalgebouwen met mechanische ventilatie zonder uitlopen en stropotten waarbij het ventilatiedebiet kan worden bepaald met een natuurlijke tracergas ratiomethode;
 - natuurlijk geventileerde stallen voor melkkoeien, mits: gehuisvest in een stalmodel waarin met voldoende zekerheid een representatieve uitlaatconcentratie gemeten kan worden (zie verder in deze paragraaf);
 - de dieren permanent in het stalgebouw aanwezig zijn;
 - er in het stalgebouw geen (stro)pot als huisvestingswijze toegepast wordt.

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, elektrostatische precipitatoren, droogfilters 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 emissiemonitoring 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 emissiemonitoring verder zal toenemen.** Hierna volgt een korte samenvatting van situaties waarin er heden nog belemmeringen zijn voor emissiemonitoring.

Bemeetbaarheid van staltypen:

- stallen waar niet met voldoende zekerheid een representatieve uitlaatconcentratie gemeten kan worden. Dit betreffen bijvoorbeeld natuurlijk geventileerde stallen met meerdere nokken (dubbelkappers), zeer open stallen en stallen met dwarsventilatie (zoals serrestallen);
- 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.

C2 Organisatorische aspecten

C2.1 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 en beoordeelt.

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. De meetinstantie is van a tot z verantwoordelijk voor het op correcte wijze installeren, onderhouden en kalibreren en het tijdig doen van vervangingen.

Het bevoegd gezag is verantwoordelijk voor:

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

C2.2 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.

C2.3 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 door het bevoegd gezag vastgelegd in de doelvoorschriftvergunning. Ondersteunend daaraan heeft TNO in juli 2024 het rapport 'Richtlijnen voor data-aanlevering emissie monitoring veehouderij' (Oostveen et al., 2024) gepubliceerd.

C3 Meetstrategie

C3.1 Uitgangspunten

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. Voor het monitoren van de emissie uit nageschakelde luchtbehandelingstechnieken waaruit vochtige of met waterdamp verzadigde lucht komt (luchtwassers, biobedden, warmtewisselaars en mestdroogtunnels) moet de luchtconcentratie in de uitgaande lucht worden gemeten met een (sensor)meetsysteem waarvan is aangetoond dat deze voldoet aan het prestatieniveau zoals omschreven in Deel D in vochtige of met waterdamp verzadigde lucht. Metingen van luchtconcentraties met continue (sensor)meetsystemen 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) of uitzetten nodig is voor onderhoud of kalibratie. Tijdens leegstandsperiodes moeten metingen door lopen zodat een volledig jaarbeeld van concentraties en emissies wordt verkregen.

C3.2 Bemeetbaarheid van het stalgebouw

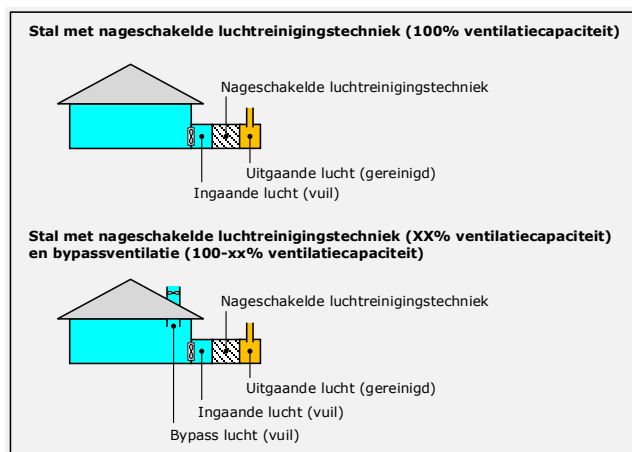
De tekst weergegeven in hoofdstuk A4.4.1 is hier eveneens van toepassing.

C3.3 Meetposities emissies uit stalgebouw

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

C3.4 Meetposities emissies uit nageschakelde luchtreinigingstechnieken

In Figuur C1 wordt het principe van een nageschakelde luchtreinigingstechniek verbonden aan een stal weergegeven.



Figuur C1 Schematische weergave van een nageschakelde luchtreinigingstechniek (luchtwasser, biobed, warmtewisselaar, elektrostatische precipitator, droogfilter of mestdroogtunnel) verbonden aan een stal.

In het geval van een luchtwasser is de praktijk dat alle ventilatielucht door de luchtwasser gestuwd wordt (bovenste deel van Figuur C1); er is geen sprake van bypassventilatie (onderste deel van Figuur C1).

De **emissie** die optreedt na passage door de nageschakelde luchtreinigingstechniek wordt bepaald op basis van het meten van de concentratie van de emitterende stof in de **uitgaande luchtstroom** (C_{uit}). Tegelijk met de uitgaande concentratie wordt ook de concentratie van de emitterende stof in de ingaande luchtstroom (C_{stal}) gemeten. Op basis van de uitgaande versus de ingaande concentratie wordt het **procentuele verwijderingsrendement** (ρ ; %) van de techniek bepaald op dagniveau, volgens:

$$\rho = \frac{C_{stal} - C_{uit}}{C_{stal}} * 100\% \quad (1)$$

C4 Meetmethoden ventilatiedebiet

C4.1 Methoden

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

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

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

C4.2 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. Voor het overige is voor meetventilatoren de tekst zoals weergegeven in hoofdstuk A6 eveneens van toepassing;
- 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.

C5 Meetmethoden luchtconcentraties

C5.1 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.

C5.2 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.

C5.3 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 monsternamelingen 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 monsternameling/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 monsternameling/meting met de SRM (of Equivalente Methode; EM) van het emitterende gas en van CO₂ als dit als natuurlijk tracergas wordt gebruikt, bij een monsternameling-/meetduur die gelijk is aan minimaal vijf keer de detectielimiet **en** drie uren. De gemiddelde waarde van het continue meetsysteem over de monsternameling-/meetduur wordt vergeleken met het gemiddelde van de duplo SRM of EM 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 of EM waarde moet het meetsysteem op alle relevante aspecten worden gecontroleerd en de controlemeting op zo kort mogelijke termijn herhaald worden. Wanneer het verschil groter is dan 20% van de SRM of EM waarde moet het meetsysteem gerepareerd of vervangen worden en zo nodig opnieuw gekalibreerd. Hierna wordt opnieuw een SRM of EM meting uitgevoerd. Opgemerkt moet worden dat uit voorgaande procedure volgt dat als een continu meetsysteem herhaaldelijk niet aan de genoemde criteria voldoet er een cascade van SRM of EM metingen ontstaat waarmee geborgd wordt dat er accurate emissie-monitoring plaatsvindt.

C6 Dataverwerking en -analyse

C6.1 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.

C6.2 Data-inclusie, data-exclusie en data-aggregatie

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

De meet-/loggingsfrequentie voor continue metingen van concentraties bedraagt minimaal eens per uur. Het is mogelijk om een zogenaamde meetpuntschakelaar in te zetten. Bij een meetpuntschakelaar wordt lucht aangezogen vanuit meerdere bemonsteringspunten (bijvoorbeeld meerdere afdelingen in een stal), via afzonderlijke monsternameleidingen per monsternamepunt, naar een centrale plaats waar de meting plaats vindt. De diverse monsternameleidingen lopen door de meetschakelaar. De meetschakelaar is geplaatst vóór de meetmethode. De meetschakelaar "schakelt" welk monsternamepunt gedurende een ingestelde tijdsperiode langs of door de meetmethode wordt gevoerd. Na een schakelmoment verandert de concentratie van het voorgaande monsternamepunt naar de concentratie van het nieuw geschakelde monsternamepunt. Stabilisatie van de nieuwe concentratie kan enige tijd duren, vooral wanneer van een lage naar een hoge concentratie wordt geschakeld, of vice versa. De meetduur per monsternamepunt duurt minimaal $T_{90} + 1$ minuut. De data van de stabilisatieperiode (T_0 tot T_{90}) wordt niet gebruikt ter bepaling van de concentratie. Na het T_{90} punt bedraagt de meetduur minimaal een minuut. Er moet worden voorkomen dat een monsternamepunt altijd op hetzelfde tijdstip wordt bemeaten waardoor monsternamepunt verstrengeld zou raken met momenten op de dag en de dan geldende emissie en omstandigheden.

De data van een dag is valide als voor tenminste 80% van de uren in die dag (minimaal 19 van de 24 uren) een valide waarde is verkregen. Dagen met minder dan 19 uren aan valide emissiedata worden geëxcludeerd voor verdere dataverwerking en gelden als dagen met een ontbrekende emissiewaarde.

Voor het berekenen van de totale jaaremissie (jaarvracht) moeten voor tenminste 80% van de dagen (292 van de 365 dagen per jaar) valide meetdata beschikbaar zijn. Een periode zonder valide meetdata mag maximaal 7 dagen lang zijn.

C6.3 Berekening ammoniakemissie

Omdat de huidige doelvoorschriftvergunningen worden verleend voor ammoniakemissie in het kader van de Wet natuurbescherming, en (nog) niet voor fijnstof of andere componenten, wordt vooralsnog volstaan met het geven van de wijze van berekening van de emissie van ammoniak.

De emissie (E) van **ammoniak** van een stalgebouw op moment (i) binnen jaar (j) wordt berekend door het ventilatiedebiet (Q_{ij} ; m³/uur; op stalniveau) te vermenigvuldigen met de uitgaande stalluchtconcentratie (C_{uitij} ; mg/m³) die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie (C_{inij} ; mg/m³) zoals hierna weergegeven:

$$E_{ij} \text{ (kg/dag)} = Q_{ij} * (C_{uitij} - C_{inij}) * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} * \frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}} \quad (1)$$

Het **moment** i is in bovenstaande formules een tijdseenheid van een uur. Wanneer moment i echter een tijdseenheid van een dag betreft, dan moet het $(\frac{24 \text{ uren}}{1 \text{ dag}})$ -deel in de formule achterwege worden gelaten.

Het **moment** i 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. Dat wil zeggen: wanneer het ventilatiedebiet en de concentratie beide zijn gemeten op uurniveau wordt de emissie berekend op uurniveau en daarna gesommeerd tot dagniveau. Wanneer beide zijn gemeten op dagniveau wordt de emissie berekend op dagniveau. Wanneer één van beide is gemeten op uurniveau en de ander op dagniveau wordt de variable op uurniveau gemiddeld naar dagniveau, daarna wordt de emissie berekend op dagniveau.

De emissies op dagniveau (E_{ij}) worden gesommeerd tot een jaarvracht (E_j) volgens:

$$E_j \text{ (kg/jaar)} = \sum(E_{ij}) \quad (2)$$

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 zijn beschreven in het rapport 'Richtlijnen voor data-aanlevering emissie monitoring veehouderij' (Oostveen et al., 2024).

C6.4 Schatting emissies perioden zonder meetdata tot en met 7 aaneengesloten dagen

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 over een periode van maximaal 7 aaneengesloten dagen moet de emissie worden geschat door lineair interpoleren tussen de laatste dag vóór en eerste dag na de periode zonder meetdata. De rationale hierachter is dat de emissie van een stalgebouw op dag x sterk gecorreleerd is met de emissie van datzelfde stalgebouw op dag $x-1$. Deze zogenaamde 'autocorrelatie' wordt veroorzaakt door het gegeven dat weersomstandigheden, leeftijden en gewichten van dieren, voersamenstellingen, enzovoort, slechts gradueel veranderen in de tijd. Continue datasets van emissies van stalgebouwen laten zien dat deze autocorrelatie uitdooft naar mate dagen verder van elkaar verwijderd zijn in de tijd. Binnen een periode van een week kan, op basis van wetenschappelijk inzicht over de mate van autocorrelatie, gebruikt gemaakt worden van interpolatie tussen de laatste dag vóór en de eerste dag na de periode zonder meetdata. Bij perioden van 8 dagen of langer is dat niet of te beperkt meer het geval.

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

C6.5 Werkwijze emissies perioden zonder meetdata van 8 aangesloten dagen en langer

Voor dagen zonder valide meetdata over een periode van 8 aaneengesloten dagen of langer biedt de in paragraaf C6.4 beschreven rationale van autocorrelatie een onvoldoende betrouwbare basis meer voor interpolatie omdat de autocorrelatie bij een dergelijk lange periode onderhevig is aan uitdoving.

Bij een omgevingsvergunning op basis van continue emissiemetingen in het kader van de Omgevingswet (voorheen: Wet natuurbescherming) moet zeker gemaakt moet worden dat het emissieplafond niet is overschreden. Tegelijk is een schatting van dagemissies binnen een periode zonder valide meetdata van 8

aaneengesloten dagen middels interpolatie op basis van autocorrelatie wetenschappelijk onvoldoende zeker. Daaruit volgt dat er uitgegaan moet worden van een *worst-case* waarde voor de ontbrekende dagemissies. *Geadviseerd wordt voor elke ontbrekende dag de 95-percentielwaarde te hanteren uit de dagemissies van het achterliggende jaar* (met minimaal 292 valide dagen, zie par. C6.3). Wanneer er zich een periode zonder valide meetdata van 8 aaneengesloten dagen of langer voordoet tijdens het eerste jaar, wanneer er dus nog geen volledig jaar aan historische data bestaat, wordt geadviseerd de ontbrekende dagen in te vullen nadat er een jaar aan data is gerealiseerd (met minimaal 292 valide dagen, zie par. C6.3).

De rationale voor het cursief gedrukte advies is als volgt:

- de 95-percentielwaarde uit de dagemissies van het voorafgaande jaar is die waarde waarvoor geldt dat 95% van de dagemissies beneden die waarde ligt en 5% van de dagemissies boven die waarde ligt. Door te kiezen voor een 95-percentielwaarde in plaats van de hoogste dagemissie van het voorafgaande jaar (dat wil zeggen een maximumwaarde) wordt enerzijds voorkomen dat een dag met een uitzonderlijk hoge emissie (bijvoorbeeld ten gevolge van een calamiteit) ingevuld wordt voor de ontbrekende dagemissies. Anderzijds wordt nog steeds een waarde gehanteerd waarvoor geldt dat er op dagniveau een kans bestaat van 95% dat de gehanteerde waarde hoger is dan de werkelijke waarde die voor die dag niet bekend is;
- de 95-percentielwaarde moet worden genomen uit de dagemissies van het voorafgaande jaar omdat een volledig jaar alle mogelijke variatie van invloedsfactoren op de hoogte van de emissie bevat, waaronder de groeifasen van dieren, seizoenale weerseffecten en (seizoenale) effecten van voersamenstelling.

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

Versie

November 2024

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).

D1 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 (NH_3), methaan (CH_4) en kooldioxide (CO_2) 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; N_2O) 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.

D1.1 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.

D1.2 Afbakening

Deel D is de voortzetting van het rapport 'Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoring van NH_3 en CH_4 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 (NH_3), koolstofdioxide (CO_2) en methaan (CH_4). Reden om CO_2 in beschouwing te nemen, is de rol hiervan in het bepalen van het ventilatiedebiet in natuurlijk geventileerde stallen. De toegepaste benadering kan ook naar andere gassen uitgebreid worden. Voor het testen en valideren van sensoren voor bedrijfsmonitoring van fijnstof is echter een gewijzigde opzet nodig omdat voor stof de meetprincipes, de factoren die van invloed zijn op de meetnauwkeurigheid en de wijze van kalibratie wezenlijk afwijken van die voor gasconcentraties. Tevens zijn er, voor zover nu bekend, nog geen stofsensoren beschikbaar die geschikt zijn voor bedrijfsmonitoring in stallen (op het gebied van nauwkeurigheid en/of concentratiebereik). Te zijner tijd zal de validatie van stofsensoren in deel E worden uitgewerkt.

D1.3 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.

hoofddijn 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.

D2 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]
	Pluimvee	19	457	5,2	8,8	10,7	0,1	72,7	[0,1 : 30]
NH ₃ buitenlucht (ppm)	Melkvee	12	59	0,12	0,14	0,10	0,02	0,54	[0,1 : 0,3]
	Varkens	36	88	0,13	0,16	0,11	0,03	0,70	[0,1 : 0,4]
	Pluimvee	17	253	0,12	0,16	0,12	0,02	0,75	[0,1 : 0,4]
CO ₂ stallucht (ppm)	Melkvee	18	475	675	702	171	439	1880	[439 : 1044]
	Varkens	40	96	1720	1882	696	865	4070	[865 : 3274]
	Pluimvee*	19	274	1500	1700	701	711	4550	[711 : 3101]
CO ₂ buitenlucht (ppm)	Melkvee	13	53	424	435	40	392	587	[392 : 514]
	Varkens	29	58	445	450	28	406	544	[406 : 506]
	Pluimvee	15	149	454	462	48	390	589	[390 : 558]
CH ₄ stallucht (ppm)	Melkvee	18	66	27,6	29,0	14,0	5,7	79,8	[6 : 57]
	Varkens	42	94	57,2	77,7	75,0	6,5	375,5	[6 : 228]
	Pluimvee	19	197	2,7	3,6	2,8	1,8	29,6	[2 : 9]
CH ₄ buitenlucht (ppm)	Melkvee	18	47	2,5	3,1	1,5	1,9	8,9	[2 : 6]
	Varkens	42	63	2,7	2,9	0,8	1,9	4,9	[2 : 4]
	Pluimvee	19	97	2,2	2,3	0,3	1,9	3,4	[2 : 3]
Temperatuur stallucht (°C)	Melkvee	18	474	12	12	5	-1	31	[1 : 23]
	Varkens	41	99	25	24	2	18	30	[20 : 29]
	Pluimvee	19	413	24	25	4	16	35	[17 : 32]
RV stallucht (%)	Melkvee	14	266	92	89	10	51	100	[69 : 100]
	Varkens**	41	100	58	58	9	41	84	[41 : 76]
	Pluimvee	19	409	64	65	12	41	100	[42 : 88]

* In vleeskuikenstallen kan gebruik gemaakt worden van gasheaters, die een veel hogere CO₂-concentratie in de stal kunnen veroorzaken dan de hier aangegeven bovengrens. ** In de varkenshouderij wordt op grote schaal gebruik gemaakt van luchtwassers. Voor de inzet van sensoren in de ventilatielucht die de luchtwasser verlaat ligt de mediaanwaarde aanzienlijk hoger (> 90%) en is in veel gevallen sprake van 100% RV.

D3 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.

Aanbevolen wordt gasstandaarden en kalibratieapparatuur van zo hoog mogelijke kwaliteit te gebruiken, om de onzekerheid in uiteindelijk toegepaste correcties (door sensor zelf of tijdens verwerken van de data) te minimaliseren. Bij het vaststellen van prestatiekenmerken is de absolute fout in aangeboden concentratie echter ondergeschikt aan de stabiliteit van het gegenereerde mengsel. Voor alle laboratoriumtests geldt dat het gasaanbod een relatieve standaarddeviatie van maximaal 2% heeft, met een absoluut maximum van 0,4 ppm voor NH_3 , 0,1 ppm voor CH_4 en 5 ppm voor CO_2 . De temperatuur dient binnen $\pm 2^\circ\text{C}$ en de relatieve vochtigheid binnen $\pm 5\%$ 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.

D3.1 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 CO_2 de achtergrondconcentratie bedoeld en niet daadwerkelijk 0 ppm. Het gekalibreerde volle meetbereik wordt aangeduid als span.

D3.1.1 Responstijd

Voor de responstijd worden drie veranderingen van het doelgas van nul naar span, en weer terug naar nul uitgevoerd. De responstijd (t_{90} ; tijd benodigd tot 90% van de spanwaarde bereikt of afgenomen is) wordt vastgesteld als het gemiddelde van de in totaal zes stijg- en daaltijden. Als criterium wordt er in het ontwikkelprotocol van uitgegaan dat t_{90} ten hoogste $\frac{1}{4}$ van de middelingstijd mag zijn. Voor de toepassing in emissie-monitoring van stallen wordt een middelingstijd van ten hoogste 1 uur genomen (zoals besproken in hoofdstuk D2). Dit betekent dat de maximaal toelaatbare responstijd 15 minuten bedraagt.

D3.1.2 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.

D3.1.3 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 NH_3 bij melkvee, en 1,0 ppm NH_3 bij varkens en pluimvee;
- 400 ppm CO_2 ;
- 5 ppm CH_4 bij melkvee en varkens, en 1,0 ppm CH_4 bij pluimvee.

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

D3.2 Aanvullende labtesten

D3.2.1 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.

D3.2.2 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.

D3.3 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).

D4 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.

D4.1 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.

D4.2 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 veldkalibratielijn per bedrijfslocatie. Vervolgens kan nogmaals een orthogonale lineaire regressie per bedrijfslocatie worden berekend op basis van de gekalibreerde AM-waarden en de SRM/EM-waarden uit de datasets. Wanneer voor elke bedrijfslocatie voldaan wordt aan de genoemde criteria voor de orthogonale regressielijn dan is de AM voorwaardelijk geschikt voor inzet in bedrijfsmonitoring. De voorwaardelijkheid houdt in dat elke AM-sensor voorafgaand aan gebruik in de praktijk wordt gekalibreerd met een SRM/EM in een representatieve praktijkmatrix. In hoofdstuk D5 wordt nader ingegaan op de opleveringseisen voor een voorwaardelijk geschikte AM-sensor.

D5 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.

D5.1 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.

D5.2 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.

D5.3 Gebruik

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

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

D5.4 Onderhoud

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

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

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

D6 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 eenvoudigere 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 veldkalibratielijन gebaseerd op alle instrumenten in het validatieonderzoek te berekenen, en vervolgens na correctie van de meetdata met deze generieke kalibratielijн 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 kalibratielijн 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.

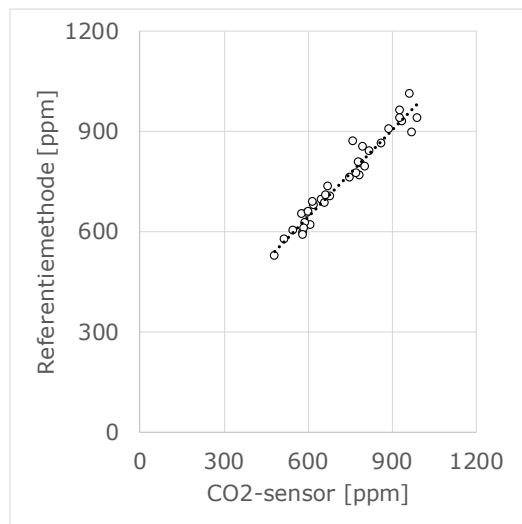
Bijlage D1: rekenvoorbeeld beoordeling gelijkwaardigheid meetmethode

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).



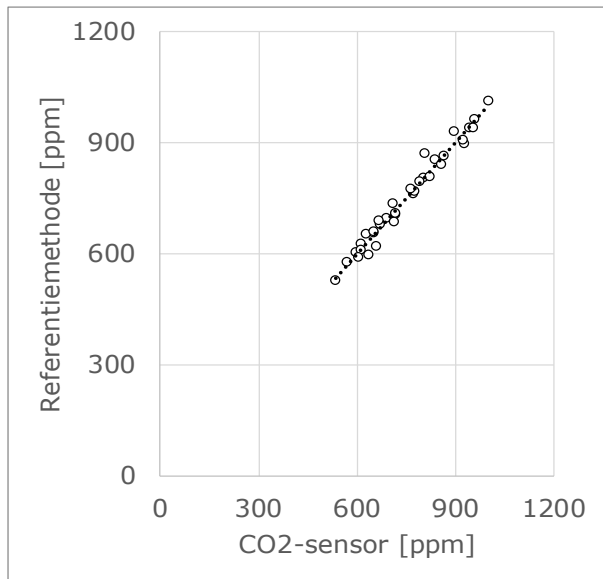
Tabel 6 Regressielijn $y = a + bx$.

	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	$\geq 0,97$	Ja

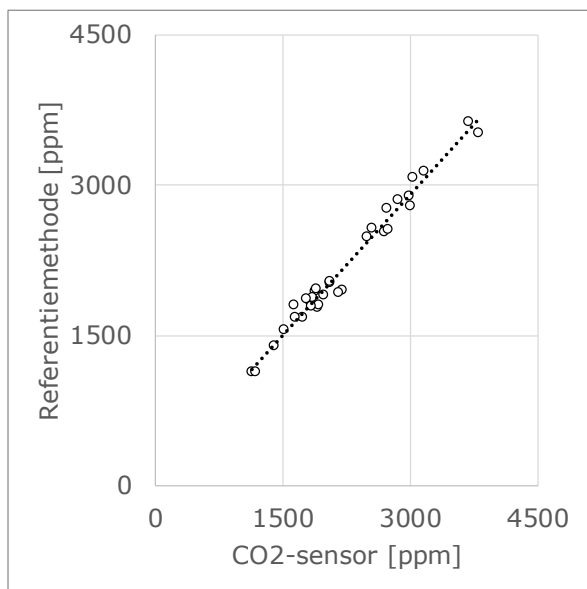
Omdat de sensoren niet voldeden is als volgende stap een veldkalibratie uitgevoerd op basis van dezelfde dataset. Vervolgens zijn met de verkregen kalibratielijnen (per sensor/locatie) de sensor-data gecorrigeerd, en is opnieuw de gelijkwaardigheid van de sensor-methode (met veldkalibratielijnen) beoordeeld 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	$\geq 0,97$	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 $y = a + bx$.

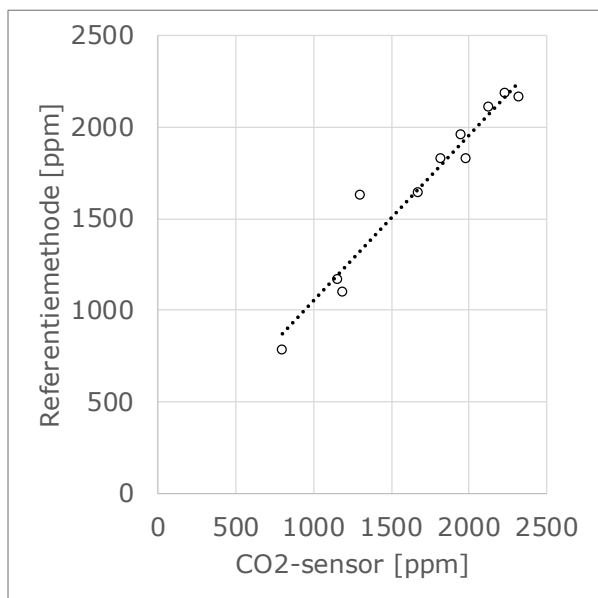
	b	a
BG1	1,02	-129,1
VV1	0,94	47,4
BG2	1,01	-16,0
VV2	0,84	358,0

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).



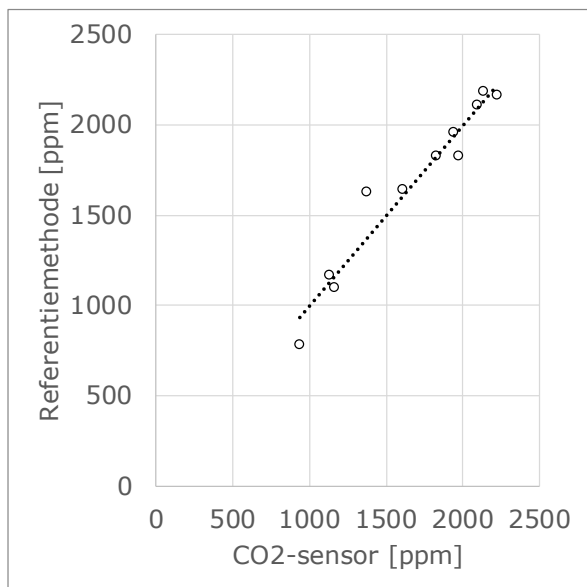
Tabel 11 Regressielijn $y = a + bx$.

	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.

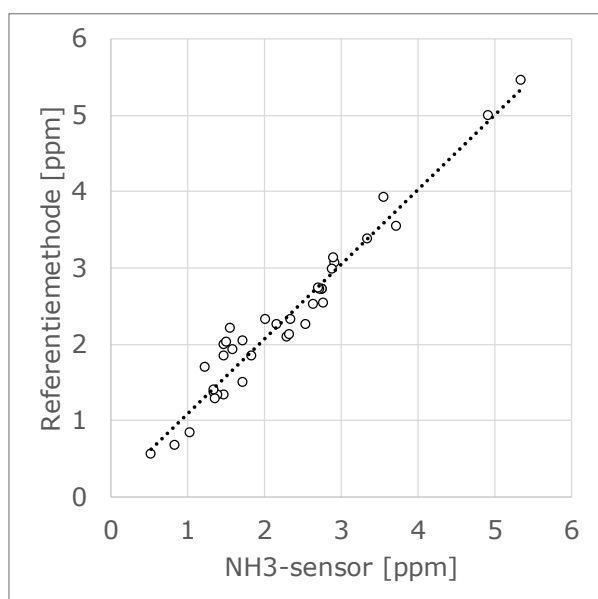


Tabel 13 Orthogonale regressie.

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 $y = a + bx$.

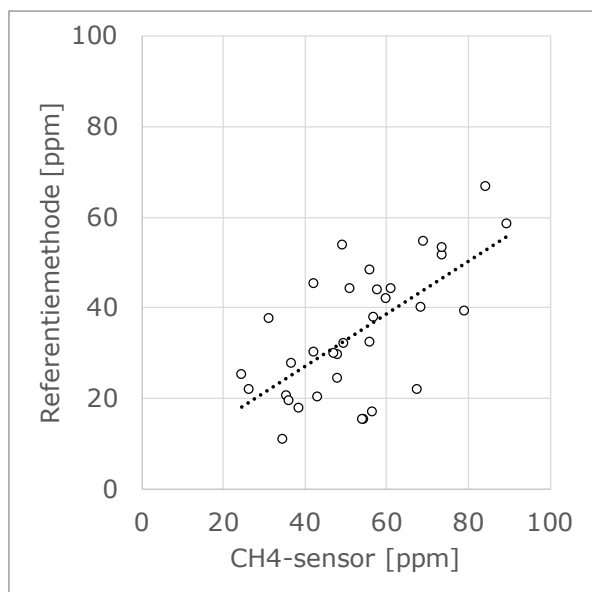
	b	a
M1	0,74	0,88
M2	0,92	0,04
M3	1,08	-0,24
M4	0,99	0,19

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	≥ 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).

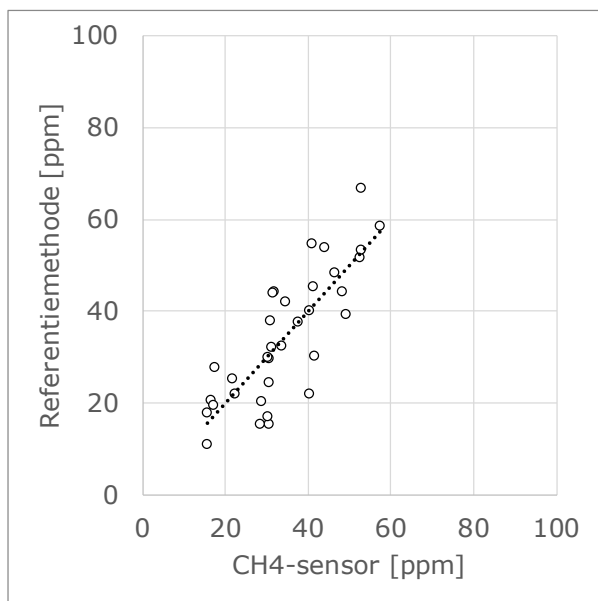
**Tabel 16** Regressielijn $y = a + bx$.

	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	$\geq 0,97$	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	$\geq 0,97$	Nee

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

Versie

Auteurs

E1 Inleiding

Dit deel wordt ingevuld in een toekomstige versie.

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

Versie

Auteurs

F1 Inleiding

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⁺ <sup>+>, 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>.

Antonsson, J., J. Cordes, B. Stoffels, D. Wildanger, 2024. Odor emission measurements: The role of n-butanol as a reference material and origins of large inter-laboratory variability. *Atmospheric Environment* 327 (2024) 120509.

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 huisvestingssystemen 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. and Mosier A.R. (1981). Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:311-316.

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.M.G. Hol, & N.W.M. Ogink. 2008. Analyse ammoniakemissieniveaus van praktijkbedrijven in de Varkenshouderij (1990-2003). Rapport 135. Lelystad: Animal Sciences Group, Wageningen University and Research Centre. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/121111>.

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., C. ter Beek, & J.V. Klarenbeek. 1997. Odor emission from traditional and low-emitting swine housing systems: emission levels and their accuracy. Conference paper, ASAE Annual International Meeting, Minneapolis, Minnesota, August 10-14, 1997.
- Ogink, N.W.M., P.N. Lens. 2001. Geuremissies uit de veehouderij - Overzichtsrapportage 1996-1999. IMAG Rapport 2001-14. Wageningen: IMAG. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/280066>.
- 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>.
- Oostveen, J., N. Smeets, B. van der Waaij, M. van der Werf, 2024. Richtlijnen voor data-aanlevering emissie monitoring veehouderij. Rapport TNO 2024 R11247. Groningen: TNO. Online beschikbaar op: <https://publications.tno.nl/publication/34642690/BJSLaFVM/TNO-2024-P11247.pdf>.
- 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>.
- Van Ouwerkerk, E.N.J. (Editor), 1993. Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Dienst Landbouwkundig Onderzoek. Wageningen. ISSN 0926-7085. Online beschikbaar op: <https://edepot.wur.nl/251461>.
- 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>.
- Winkel, A., N.W.M. Ogink, 2020. Berekening van een onzekerheidsmarge voor fijnstof reducerende technieken bemeten bij één in plaats van twee bedrijfslocaties. Wageningen Livestock Research, Rapport 1239. Online beschikbaar op: <https://doi.org/10.18174/524760>.

Versiebeheer rapport

Versie 1

- Versiedatum: 25 januari 2024
- Ontstaansproces: eerste versie, tot stand gekomen op basis van discussiesessies en een schrijfproces in de werkgroep in kwartalen 3 en 4 van 2024.
- Aard van de versie: delen A, C en D zijn als eerste versie geschreven.

Versie 2

- Versiedatum: 25 november 2024
- Ontstaansproces: in de tweede versie:
 - is tussen februari en november 2024 feedback verwerkt t.a.v. delen A en C dat op uitvraag is ontvangen van het Ministerie van LNV, het Ministerie van IenW, de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), de Technische Adviseurs Pool (TAP) van RVO, TNO, Tauw, Witteveen+Bos, EnviVice, Connecting Agri & Food en het Vlaamse Wetenschappelijk Comité Luchtemissies Veehouderij (WeComV). Feedback is door de werkgroep verzameld en gestructureerd in een overzichtsmatrix. Feedback is in de werkgroep beoordeeld en bediscussieerd waarna besloten is over het al dan niet aanpassen van delen A en C van het rapport. Er zijn 175 feedback punten opgenomen in de overzichtsmatrix. Ruim 80 feedbackpunten hebben geresulteerd in een verdere verbetering van het rapport;
 - zijn tussen februari en november 2024 paragrafen van deel A geschreven die in versie 1 nog blanco waren gelaten;
 - zijn tussen februari en november 2024 in delen A en C - op basis van verdere discussie en uitdieping in de werkgroep - onderdelen toegevoegd, verwijderd, verbeterd en geactualiseerd.
- Belangrijkste toevoegingen, verwijderingen, verbeteringen en actualisaties:
 - Par. A4.2: in de case-control proefopzetten is niet langer het X.100 huisvestingsstelsel de verplichte referentie maar moet een huisvestingsstelsel worden toegepast dat een emissiefactor heeft op basis van metingen volgens een meetprotocol van 2011 of recenter (zie par. 1.1) waarbij metingen zijn verricht op tenminste twee bedrijfslocaties bij een case-control proefopzet of op tenminste vier bedrijfslocaties bij een multi-bedrijfslocatie proefopzet. Hieruit volgt dat huisvestingsstelsels met emissiefactoren op basis van metingen aan één bedrijfslocatie (bijvoorbeeld volgens het Groen label protocol) niet toegestaan zijn. Ook huisvestingsstelsels met een afgeleide emissiefactor zijn niet toegestaan.
 - Par. A4.4: er is een Toelichtend Kader opgenomen over aantallen bedrijfslocaties in meetcampagnes in relatie tot onzekerheid van het emissiecijfer, meetinspanningen en kosten.
 - Par. A5.4: de beschrijving van meetposities is uitgebreid en geconcretiseerd.
 - Par. A6.2: de beschrijving van de kalibratie van meetventilatoren is uitgebreid en geconcretiseerd.
 - Par. A6.4.2: er is een beschrijving opgenomen van de methodiek van statische fluxkamer metingen ter bepaling van de CO₂-productie uit stropotten.
 - Par. A7.6: er is beschreven hoe luchtconcentraties van bioaerosolen bemeeten moeten worden.
 - Par. A8.2: er is geconcretiseerd wanneer een uur- en dagwaarde als valide mogen worden beschouwd.
 - Par. A8.4: er is als eis opgenomen dat emissies niet alleen met centrummaten maar ook met spreidingsmaten en precisieën worden gerapporteerd.
 - Bijlage A1: de Landbouwkundige randvoorwaarden zijn geactualiseerd. Voorheen afzonderlijke Landbouwkundige randvoorwaarden voor gangbare en biologische veehouderij zijn geïntegreerd. Er zijn Landbouwkundige randvoorwaarden bijgekomen voor melkgeitenstallen.
 - Bijlage A2: de rekenregels voor *total heat* en CO₂-productie ten behoeve van de tracerasatiemethode zijn als Bijlage A2 toegevoegd aan het rapport.
 - Par. C1.4: melkkoeien in natuurlijk geventileerde stallen met een bemeetbaar gebouwmodel en met permanent opstallen is binnen de scope gekomen van deel C.
 - Par. C5.3: controlemetingen naast het continue meetsysteem mogen in versie 2 (in plaats van met alleen een SRM) ook met een Equivalente Methode (EM) worden bemeeten. Daarnaast is de meetduur verkort van 24 uur naar 3 uren en de duur benodigd om vijf keer de detectielimiet te verzamelen.

-
- Par. C6.2: er is geconcretiseerd wanneer een uur- en dagwaarde als valide mogen worden beschouwd.
 - Par. C6.4: opgenomen is de aanvullende eis dat een periode zonder valide data maximaal 7 dagen mag duren.
 - Par. C6.5: beschreven is de werkwijze voor perioden zonder valide data van 8 dagen en langer.

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.

