

Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen (versie 3)

Guidelines for determination of emissions from livestock barns (version 3)

Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij

Rapport 1638

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen (versie 3)

Guidelines for determination of emissions from livestock barns (version 3)

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, april 2026

Rapport 1638

Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij, 2026. *Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen (versie 3) [Guidelines for determination of emissions from livestock barns (version 3)].* Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1638.

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 luchtzuiveringssystemen in het kader van een algemene erkenning. Deel C is gericht op het bepalen van emissies bij emissiemonitoring in het kader van een doelvoorschriftvergunning. Delen D, E en F, tenslotte, zijn gericht op ontwikkeling en validatie van (sensor)meetsystemen voor continue concentratiemeting van respectievelijk gassen, (fijn)stof en geur. Dit rapport is opgesteld door wetenschappelijke experts van vier kennisinstellingen. Het kan voorgeschreven worden als te volgen werkwijze in een bepaald toepassingsgebied, bijvoorbeeld door de Rijksoverheid, bevoegd gezag of norminstituut. Door dit voor te schrijven wordt de toepassing van dit document een protocol.

Abstract
This 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.

Dit rapport is gratis te downloaden op of op https://doi.org/10.18174/714405 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, 2026
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.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1638

Voorwoord versie 3

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 luchtzuiveringssystemen. Uit de periode 2011-2017 bestonden hiervoor in Nederland zes Wageningen Livestock Research Rapporten; één rapport per emissiecomponent. 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 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. In de eerste versie van januari 2024 zijn delen A, C en D opgezet. In de 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 belanghebbende partijen.

In de onderhavige derde versie is deel B opgesteld op basis van een eerste versie van de ‘Meetrichtlijnen voor luchtzuiveringssystemen’ geproduceerd door een werkgroep van het Vlaamse WeComV, gepubliceerd op 18 november 2025. Volgens afspraak tussen vertegenwoordigers van Vlaanderen en Nederland medio 2023 is het Vlaamse protocol als basis genomen voor deel B. Twee leden van de Vlaamse WeComV werkgroep waren al lid van de ‘Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij’ dat onderhavig rapport schrijft. Daarnaast heeft de voorzitter van de Vlaamse WeComV werkgroep deelgenomen aan de totstandkoming van deel B. Deel B is daarmee feitelijk een gezamenlijke (Vlaams-Nederlandse) doorontwikkeling van de eerste versie van het Vlaamse protocol. De bestaande inhoud van het Vlaamse protocol is op punten nog verfijnd en de inhoud is verder verbreed naar technieken (filtersystemen, ionisatiesystemen, warmtewisselaars en mestdroogtunnels) en emissiecomponenten (stof, fijnstof). Tot slot zijn in deel A diverse actualisaties en verduidelijkingen doorgevoerd (zie ook de bijlage “Versiebeheer” achter in 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; voorzitter Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij 2023-2026

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 12
1.5.1 Aanbevelingen en verplichtingen 12
1.5.2 Concentraties versus emissies 12
1.5.3 Emissies versus emissiefactoren 12
1.5.4 Rapport versus protocol 12
1.5.5 Meetprotocol versus meetplan 12
1.5.6 Veiligheid 13
1.5.7 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 19

A1 Inleiding 20

A1.1 Context 20
A1.2 Doel 20

A2 Organisatorische aspecten 21

A2.1 Ontwikkelfase en definitieve fase 21
A2.2 Actoren en verantwoordelijkheden 21
A2.3 Eisen aan de meetinstantie (tijdelijke paragraaf) 22
A2.4 Conformiteit regelgeving diergezondheid, dierwelzijn en veiligheid 23
A2.5 Meetplan 23

A3 Beschrijving onderzoekslocatie en te onderzoeken interventie 24

A3.1 Beschrijving onderzoekslocatie 24
A3.2 Beschrijving te onderzoeken interventie 25

A4 Proefopzetten en onderzoekslocaties 27

A4.1 Uitgangspunten 27
A4.2 Beschrijving van de proefopzetten en hun criteria 27
A4.2.1 Proefopzet 1a. Case-control met identieke proefeenheden en wisseling van interventie over proefeenheden 27
A4.2.2 Proefopzet 1b. Case-control met identieke proefeenheden zonder wisseling van interventie over proefeenheden 30
A4.2.3 Proefopzet 2. Case-control met niet-identieke proefeenheden en wisseling van interventie over proefeenheden 30
A4.2.4 Proefopzet 3. Case-control in de tijd, binnen dezelfde stal 31
A4.2.5 Proefopzet 4. Observationeel multi-bedrijfslocatie design 31
A4.3 Aantonen gelijkwaardigheid proefeenheden 32
A4.4 Aantallen onderzoekslocaties 33
A4.4.1 Bemeetbaarheid van de onderzoekslocatie 37

A4.4.2 Representativiteit en landbouwkundige randvoorwaarden 37

A5 Meetstrategie 39

A5.1 Uitgangspunten 39
A5.2 Continue metingen (ammoniak, methaan) 39
A5.3 Discontinue metingen (fijnstof, geur, bioaerosolen) 39
A5.4 Hybride (zowel continu als discontinu) meten bij een melkveebedrijf met beweiden 41
A5.5 Meetposities 42
A5.5.1 Uitgangspunten 42
A5.5.2 Beschouwing van de meetsituatie 42
A5.5.3 Meetposities voor CO_2 en emissiecomponenten in natuurlijk geventileerde stallen met luchtuitlaat via een open nok 43
A5.5.4 Meetposities voor CO_2 en emissiecomponenten in mechanisch geventileerde stallen 44
A5.5.5 Meetposities voor CO_2 en emissiecomponenten in de ingaande lucht 44

A6 Meetmethoden ventilatiedebiet 45

A6.1 Mechanisch versus natuurlijk geventileerde stallen 45
A6.2 Meetwaaiers op ventilatoren zonder registratie 45
A6.3 Ventilatoren met registratie 46
A6.4 Tracergas ratiomethode 46
A6.4.1 Algemeen principe 46
A6.4.2 Natuurlijk tracergas: bepaling van de CO_2-productie van de dieren en hun mest 47
A6.4.3 Natuurlijk tracergas: bepaling van de CO_2-productie van mest-/stro(oisel)laag met de statische fluxkamermethode 48
A6.4.4 Kunstmatig tracergas 49

A7 Meetmethoden luchtconcentraties 50

A7.1 Uitgangspunten 50
A7.2 Ammoniak (NH_3) 50
A7.3 Geur 51
A7.4 Methaan (CH_4), lachgas (N_2O) en koolstofdioxide (CO_2) 54
A7.5 Stof (grove stoffracties, PM_{10} en $PM_{2,5}$) 55
A7.6 Bioaerosolen 58

A8 Dataverwerking en -analyse 59

A8.1 Controle op volledigheid 59
A8.2 Controle op kwaliteit - exclusie van data 59
A8.3 Controle op afwijkingen door drift bij continue meetsystemen - toepassing van correcties 60
A8.4 Data-aggregatie 61
A8.5 Berekening emissie bij proefopzetten 1a, 1b, 2 en 3 62
A8.6 Berekening emissie bij proefopzet 4 63
A8.7 Afwijkende berekening emissies bij dieren met exponentieel emissiepatroon en discontinue meting 65
A8.8 Standaardisatie ammoniakemissie melkkoeien 65
A8.9 Statistische evaluatie emissie-effect interventie 70
A8.10 Bepaling meetonzekerheid 71

A9 Rapportage 72

Bijlage A1: landbouwkundige randvoorwaarden 74

Bijlage A2: rekenregels ten behoeve van de natuurlijke tracergas ratiomethode 87

Bijlage A3: voorbeeldberekening uitgebreide meetonzekerheid natchemische bepaling van ammoniak 93

DEEL B: bepalen van het verwijderingsrendement van nageschakelde luchtzuiveringssystemen in het kader van een algemene erkenning **96**

B1 Inleiding **97**

B1.1 Context 97
B1.2 Doel 97

B2 Organisatorische aspecten **98**

B3 Beschrijving onderzoekslocatie en te onderzoeken luchtzuiveringssysteem **99**

B3.1 Beschrijving onderzoekslocatie 99
B3.2 Beschrijving te onderzoeken luchtzuiveringssystemen 99
B3.2.1 Luchtwassers (verwijdering ammoniak, geur en stof) 102
B3.2.2 Biobedden (verwijdering ammoniak, geur en stof) 103
B3.2.3 Droogfiltersystemen (verwijdering stof) 103
B3.2.4 Ionisatiesystemen (verwijdering stof) 104
B3.2.5 Warmtewisselaars (verwijdering stof) 105
B3.2.6 Mestdroogtunnels (verwijdering stof, bron van ammoniak en geur) 106
B3.3 Combinaties van nageschakelde luchtzuiveringssystemen en van huisvestingssystemen en nageschakelde luchtzuiveringssystemen 107
B3.4 Bypassventilatie 107

B4 Proefopzet en onderzoekslocaties **109**

B4.1 Uitgangspunt 109
B4.2 Beschrijving van de proefopzet 109
B4.3 Aantal onderzoekslocaties 109
B4.4 Bemeetbaarheid onderzoekslocaties 111
B4.4.1 Bereikbaarheid in- en uitlaten 111
B4.4.2 Homogeniteitsvereiste voor de uitgaande lucht van luchtwassers en biobedden 111
B4.4.3 Homogeniteitscontrole op basis van ammoniakconcentratiemetingen 111
B4.4.4 Homogeniteitscontrole op basis van luchtsnelheidsmetingen (voor biobedden) 112

B5 Meetstrategie **114**

B5.1 Uitgangspunten 114
B5.2 Discontinue metingen 115
B5.3 Continue metingen 115
B5.4 Meetposities luchtwassers en biobedden 116
B5.4.1 Ingaande luchtstroom 116
B5.4.2 Uitgaande luchtstroom 117
B5.4.3 Controle van windinslag bij de staalnamepunten in de uitgaande luchtstroom van het luchtzuiveringssysteem 117

B6 Meetmethoden ventilatiedebiet **119**

B7 Meetmethoden luchtconcentraties **120**

B8 Dataverwerking en analyse **121**

B8.1 Controle op volledigheid 121
B8.2 Controle op kwaliteit – exclusie van data 121
B8.3 Controle op afwijkingen door drift bij continue meetsystemen - toepassing van correcties 122
B8.4 Data-aggregatie 123
B8.5 Berekening van emissies en verwijderingsrendement 123
B8.5.1 Opstellen continue dataset bij discontinue metingen 123
B8.5.2 Berekenen verwijderingsrendement (ammoniak, geur, stof) 124
B8.6 Data-analyse van relaties bij luchtwassers en biobedden 125

B8.7 Bepalen meetonzekerheid 126

B9 Rapportage 127

DEEL C: bepalen van emissies bij emissiemonitoring in het kader van doelsturing 129

C1 Inleiding 130

C1.1 Context 130
C1.2 Doel 130
C1.3 Overeenkomsten en verschillen delen A/B vs. C 130
C1.4 Afbakening huidige inzetbaarheid 131

C2 Organisatorische aspecten 133

C2.1 Actoren en verantwoordelijkheden 133
C2.2 Meetplan bij een doelvoorschriftvergunning 133
C2.3 Rapportage monitoringsresultaat aan bevoegd gezag 134

C3 Meetstrategie 135

C3.1 Uitgangspunten 135
C3.2 Bemeetbaarheid van het stalgebouw 135
C3.3 Meetposities emissies uit stalgebouw 135
C3.4 Meetposities emissies uit nageschakelde luchtzuiveringssystemen 135

C4 Meetmethoden ventilatiedebiet 137

C4.1 Methoden 137
C4.2 Kwaliteitsborging 137

C5 Meetmethoden luchtconcentraties 138

C5.1 Continue meetsystemen 138
C5.2 Standaard Referentie Methoden (SRM) 138
C5.3 Kwaliteitsborging luchtconcentratiemetingen 138

C6 Dataverwerking en -analyse 139

C6.1 Controle op volledigheid, kwaliteit en consistentie 139
C6.2 Data-inclusie, data-exclusie en data-aggregatie 139
C6.3 Berekening ammoniakemissie 139
C6.4 Schatting emissies perioden zonder meetdata tot en met 7 aaneengesloten dagen 140
C6.5 Schatting emissies perioden zonder meetdata van 8 aangesloten dagen en langer 141

DEEL D: ontwikkeling en validatie van (sensor)meetsystemen voor continue meting van gasconcentraties 142

D1 Inleiding 143

D1.1 Doelstelling 143
D1.2 Afbakening 143
D1.3 Aanpak en indeling 143

D2 Beschrijving van het toepassingsgebied 145

D3 Laboratoriumtests 147

D3.1 Initiële labtest 147
D3.1.1 Responstijd 147
D3.1.2 Kalibratie 148
D3.1.3 Binnen- en tussen-instrument herhaalbaarheid, detectie- en kwantificatielimieten 148
D3.2 Aanvullende labtesten 149
D3.2.1 Drukeffect 149
D3.2.2 Temperatuur- of vochtgevoeligheid, stoorcomponenten 149

D3.3 Uitgebreide meetonzekerheid 150

D4 Veldtest – validatie onder praktijkomstandigheden 151

D4.1 Opzet en randvoorwaarden voor uitvoering 151
D4.2 Beoordeling van gelijkwaardigheid methodes en inzetbaarheid voor bedrijfsmonitoring 152

D5 Installatie en onderhoud 154

D5.1 Kalibratie vooraf 154
D5.2 Installatie/oplevering 154
D5.3 Gebruik 154
D5.4 Onderhoud 155

D6 Conclusies en aanbevelingen 156

Bijlage D1: rekenvoorbeeld beoordeling gelijkwaardigheid meetmethode 157

DEEL E: ontwikkeling en validatie van sensormeetsystemen voor continue meting van stofconcentraties 164

E1 Inleiding 165

DEEL F: ontwikkeling en validatie van sensormeetsystemen voor continue meting van geurconcentraties 166

F1 Inleiding 167

Bronnenlijst 168

Versiebeheer rapport 173

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 $PM_{2,5}$) 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 (LNV), het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM), 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 Ouwerkerk 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 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 LNV en VROM onderzoek uitgevoerd naar de geuremissie van conventionele en emissiearme 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). In deze rapporten werd primair beschreven hoe emissies uit huisvestingssystemen moesten worden gemeten. Het meten aan nageschakelde luchtzuiveringssystemen (dat wil zeggen: luchtwassers en biobedden) werd toegevoegd als bijlagen bij de rapporten over ammoniak, geur en fijnstof. Het rapport bevattende een meetprotocol voor ammoniak was juridisch verankerd in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav), artikel 3.3.d. Dit artikel beschrijft dat de minister een bijzondere emissiefactor kan vaststellen indien naar zijn oordeel voldoende is gewaarborgd dat de ammoniakemissie overeenkomstig dit document, of een gelijkwaardige methode, wordt bepaald. In de per 1 januari 2024 van kracht geworden Omgevingswet zijn de emissiegrenswaarden voor ammoniak en fijnstof opgenomen in paragraaf 4.82 van het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal). Daarbij is het vaststellen van een bijzondere emissiefactor om een proefstal (in de Omgevingswet 'innovatieve stal' geheten) te kunnen oprichten gedecentraliseerd, maar is tevens een meetverplichting opgenomen.

Omdat leveranciers van stalsystemen en emissiereducerende technieken veelal in meerdere landen actief zijn, is het wenselijk dat deugdelijk gemeten milieuprestaties multinationaal geaccepteerd kunnen worden. In 2006 liet het Ministerie van LNV verkennen hoe Nederlandse en Duitse meetprotocollen voor stalemissies van ammoniak, geur en fijnstof geharmoniseerd zouden kunnen worden (Aarnink et al., 2006). In 2008 werd het samenwerkingsverband VERA (*Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production*) opgezet waarin aanvankelijk Denemarken, Duitsland en Nederland actief waren. In 2018 trad ook Vlaanderen toe. Door VERA zijn vijf Engelstalige *Test Protocols* gepubliceerd waaronder die voor *Air Cleaning Technologies* (VERA, 2018a) en *Housing and Management Systems* (VERA, 2018b). Leveranciers van stalsystemen en emissiereducerende technieken konden bij VERA een verificatieverklaring aanvragen. Op een verificatieverklaring verklaarde VERA dat een interventie beproefd was volgens een VERA *Test Protocol*. De verklaring bevatte 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 NH_3 en CH_4 uit veehouderijen: Toepassing bij sensorsystemen voor vaststellen van stalemissies*' (Vonk et al., 2021). In dit rapport is beschreven hoe de prestaties van sensormeetsystemen kunnen worden bepaald en welke prestatieniveaus als voldoende kunnen worden gezien.

1.2 Doel van dit document

Dit document heeft als doel om te beschrijven hoe emissies van luchtvervuilende stoffen en broeikasgassen uit stalgebouwen in de veehouderij op correcte wijze kunnen worden bepaald op basis van de actuele stand van wetenschappelijke kennis. Het document is opgesteld 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 zijn tussen 2023 en 2026 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 uitbreiden van het document met ontbrekende aspecten;
4. het aanbrengen van details, specificaties en voorbeelden in de beschrijvingen in het document;
5. het actualiseren van het document naar de huidige (wetenschappelijke en technische) mogelijkheden, de stand van kennis en de veehouderijsector;
6. het toevoegen van onderdelen met betrekking tot:
    - het bepalen van de milieuprestaties van nageschakelde luchtzuiveringssystemen (deel B);
    - emissiemonitoring op veehouderijbedrijven in het kader van doelsturing (deel C);
    - het bepalen van het prestatieniveau van continue (sensor)meetsystemen voor concentraties van verschillende emissiecomponenten (delen D, E en F).

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 luchtzuiveringssystemen 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, de meetrichtlijnen voor luchtzuiveringssystemen van het WeComV 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 ten behoeve van bijvoorbeeld vergunningverlening of (nationale) emissieregistraties. 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 tweede versie (november 2024) zijn delen A en C verbeterd en uitgebreid. In de onderhavige versie is deel B opgesteld en is deel A geactualiseerd en verduidelijkt. 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 paragraaf 1.1). Daarom zullen deze in de toekomst 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 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 in de veehouderij 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 Concentraties versus emissies

Apparatuur gebruikt voor luchtmetingen stellen in beginsel **concentraties** vast, uitgedrukt als aandeel van de te meten stof binnen de gehele gasmatrix (bijvoorbeeld deeltjes per miljoen; ppm) of de massa ervan in een zeker luchtvolume (bijvoorbeeld mg/m^3). Dit kunnen belangrijke parameters zijn in termen van blootstelling en daarmee het stalklimaat, zeker in gesloten stalsystemen. Op zichzelf zeggen gemeten concentraties echter niet zoveel over de uiteindelijke **emissie**, de uitstoot door een bepaalde eenheid gedurende een zekere tijdsduur (bijvoorbeeld kg/dierplaats/jaar). Hiertoe is het nodig ook de in die tijd verplaatste hoeveelheid lucht (vaak aangeduid als ventilatiedebiet) te kennen. In algemene zin geldt dus E(missie) = C(oncentratie) x V(olume)/T(ijdseenheid).

1.5.3 Emissies versus emissiefactoren

Tevens moet een helder onderscheid gemaakt worden tussen **emissie** (een hoeveelheid van een stof dat per tijdseenheid, en eventueel eenheid van productie, uit een bron wordt uitgestoten) en een **emissiefactor**. Emissie is een wetenschappelijk-technische grootheid die door onderzoeksinstellingen 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). In dit rapport worden bij de gebruikte formules voor zowel inputgegevens als resultaten de meest gangbare eenheden weergegeven. Afhankelijk van de situatie is het mogelijk hiervan af te wijken, zolang dit (al dan niet na omrekening) tot gelijk resultaat leidt.

1.5.4 Rapport versus protocol

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**.

1.5.5 Meetprotocol versus meetplan

Er moet een helder onderscheid gemaakt worden tussen een **meetprotocol** of **richtlijn** en een **meetplan**. Een meetprotocol of richtlijn 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 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** verleend 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 of richtlijn, de specifieke situatie van een te bemeten veehouderij, en mogelijk doelen en onderzoeksvragen die in een **projectvoorstel** of **onderzoeksplan**, in het kader waarvan de metingen plaatsvinden, zijn beschreven.

In delen A en B wordt gevraagd om in het meetplan de veehouderij tot in detail te beschrijven, onder andere omdat:

- met die informatie aangetoond kan worden dat er voldaan is aan de landbouwkundige randvoorwaarden en er sprake is van een representatieve onderzoekslocatie;
- met die informatie verschillen kunnen worden verklaard of verbanden aangetoond, zowel in het emissieonderzoek zelf als later in meta-analyses over meerdere emissieonderzoeken;
- met die informatie in de toekomst eventueel bepaald kan worden of de emissiewaarden uit het emissieonderzoek gebruikt zouden kunnen worden om een emissiefactor af te leiden voor een andere diercategorie of ander huisvestingssysteem.

In deel C, dat gaat om het meten van emissies van een specifieke veehouderij met een doelvoorschriftvergunning (emissiemonitoring), kan volstaan worden met een eenvoudigere bedrijfsbeschrijving.

1.5.6 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 mestbesmeurde of natte betonvloeren;
- blootstelling aan (mest)gassen, stof en (zoönotische) micro-organismen;
- ongevallen met landbouwvoertuigen, machines en andere installaties;
- ongevallen 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. Dit alles is ter beoordeling van de uitvoerende meetinstantie.

1.5.7 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 volgens geldende wet- en regelgeving
DS	Drogestof
E	Emissie
EBRT	Empty Bed Residence Time (lege-bed-verblijftijd)
EM	Equivalente methode
GC	Gaschromatograaf
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
LOD	Limit of detection: de detectielimiet
LOQ	Limit of quantification: de kwantificatielimiet of bepalingsgrens
LVVN	Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur
MB	Ministerieel besluit (in Vlaanderen)
ME	Metaboliseerbare energie
N	Stikstof
NH_3	Ammoniak
N_2O	Lachgas, distikstof(mono)oxide
NO_x	Het totaal van NO (stikstofmonoxide) en NO_2 (stikstofdioxide)
OU_E	European Odour Units (EN 13725)
P	Fosfor
PE	Polyethyleen
PM	Particulate matter
PM_{100}	Inhaleerbaar stof: in lucht zwevende vloeibare en vaste deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 100 micrometer. Formeel: "*mass fraction of total airborne particles which is inhaled through the nose and mouth*" (ISO 7708; EN 481)
PM_{10}	In lucht zwevende vloeibare en vaste deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer (EN 12341)
$PM_{2,5}$	In lucht zwevende vloeibare en vaste deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 2,5 micrometer (EN 12341)
ppm	Parts per million
Rav	Regeling ammoniak en veehouderij (in Nederland, vervallen per 1-1-2024 en vervangen door de Omgevingswet en bijbehorende regels)
Rgv	Regeling geurhinder en veehouderij (in Nederland, vervallen per 1-1-2024 en vervangen door de Omgevingswet en bijbehorende regels)

RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
RE	Ruw eiwit
RV	Relatieve luchtvochtigheid
SRM	Standaard referentiemethode
T	Temperatuur
TAN	Totaal Ammoniakaal Stikstof: de hoeveelheid stikstof aanwezig in de vorm van ammoniak (NH_3), ammonium (NH_4) en makkelijk mineraliseerbaar organisch stikstof
TAP	Technische Advies Pool, een beoordelende en adviserende commissie binnen RVO
TSP	Total Suspended Particles
VERA	Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production
VROM	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 van een interventie in de regelgeving
Anemometer	Luchtsnelheidsmeter
Biobed	Installatie waarin de ventilatielucht uit een stal door een volume van vochtig organisch pakkingsmateriaal (vulmateriaal) wordt gestuwd waarbij luchtverontreinigende stoffen (ammoniak, geur, stof) worden afgevangen en al dan niet omgezet door de micro-organismen die op het pakkingsmateriaal leven. In het geval van ammoniak wordt deze microbieel omgezet in nitriet (NO_2-ion) en nitraat (NO_3-ion; nitrificatie), en mogelijk nog in onschadelijk en inert stikstofgas (N_2; denitrificatie)
Bedrijfslocatie	Geografisch adres waar een veehouderijbedrijf staat met één of meerdere stallen, met eventueel afdelingen binnen stallen. Wanneer een bedrijfslocatie geïncludeerd wordt in een steekproef voor emissieonderzoek (meetcampagne) wordt zo'n locatie in dit rapport een onderzoekslocatie genoemd. Zie ook: onderzoekslocatie
Biofilter	Synoniem voor biobed, zie aldaar. In de praktijk ook wel gebruikt als ruimere omschrijving voor zowel biobedden als biologische luchtwassers. Om verwarring te vermijden wordt de term 'biofilter' daarom niet gebruikt in dit document
Biologisch luchtwassysteem	Installatie waarin de ventilatielucht uit een stal door een waspakket wordt gestuwd waarbij luchtverontreinigende stoffen (ammoniak, geur, fijnstof) worden afgevangen in een wasvloeistof. In het geval van ammoniak wordt deze daarna door micro-organismen omgezet in nitriet (NO_2-ion) en nitraat (NO_3-ion; nitrificatie), en mogelijk nog in onschadelijk en inert stikstofgas (N_2; denitrificatie)
Chemisch luchtwassysteem	Installatie waarin de ventilatielucht uit een stal door een waspakket wordt gestuwd waarbij luchtverontreinigende stoffen (primair ammoniak, secundair ook geur en fijnstof) worden afgevangen in een zure wasvloeistof (bijvoorbeeld zwavelzuur). In het geval van ammoniak wordt deze in de wasvloeistof gebonden tot een zout (bijvoorbeeld ammoniumsulfaat)
Continue meting	Een meting waarbij de waarde van een grootheid doorlopend (zonder onderbreking), met een hoge tijdresolutie (uren, minuten, seconden) wordt bepaald, zodanig dat de meetwaarden een vloeiend tijdspatroon representeren. Een continue meting wordt uitgevoerd met een continue meetmethode. In uitzonderlijke of specifieke gevallen kan een continue meting uitgevoerd worden door een groot aantal discontinue metingen in de tijd achter elkaar uit te voeren waarbij afzonderlijke meetperioden kort en aansluitend zijn. Deze (theoretische) toepassing maakt geen onderdeel uit van onderhavig rapport

Continue meetmethode	Een meetmethode die de waarde van een grootheid doorlopend (zonder onderbreking), met een hoge tijdresolutie (uren, minuten, seconden) kan bepalen, zodanig dat de meetwaarden een vloeiend tijdspatroon representeren. Een continue meetmethode kan worden ingezet voor een continue meting, maar ook kortdurend voor een discontinue meting
Controlemeting	Een meting met een afzonderlijke meetmethode naast en tegelijktijdig met een in-situ meetmethode met als doel om te controleren of de in-situ meetmethode (nog steeds) valide meet. Een betekenisvol verschil tussen de meetwaarde van de controlemeetmethode en de meetwaarde van de in-situ meetmethode kan worden veroorzaakt door bijvoorbeeld een defect, een storing, interferentie en/of drift van de in-situ meetmethode
Detectielimiet (Limit of detection; LOD)	De detectielimiet (limit of detection; LOD) en kwantificatielimiet (limit of quantification; LOQ) zijn begrippen die worden gebruikt om de laagste concentratie van een meetgrootheid te beschrijven die betrouwbaar kan worden gemeten met een meetmethode. De detectielimiet is de laagste concentratie die betrouwbaar onderscheiden kan worden van een achtergrondwaarde of nulwaarde, bepaald als driemaal de standaardafwijking (σ) over de meetwaarden verkregen door het driemaal aanbieden van een nulconcentratie (LOD = 3 * σ_{blanco}; een signaal-ruisverhouding van 3:1)
Dierplaats	Deel van een huisvestingssysteem bestemd voor het houden van één dier volgens geldende wet- en regelgeving
Discontinue meting	Een meting waarbij de waarde van een grootheid niet doorlopend maar in een relatief korte, afgebakende periode (bijvoorbeeld over 24 uur) wordt bepaald, Discontinue metingen resulteren in beginsel in één enkele waarde per meetperiode. Tussen de metingen zitten tijdsonderbrekingen. Een discontinue meting kan worden uitgevoerd met een discontinue meetmethode maar ook met een continue meetmethode die tijdens een relatief korte, afgebakende periode, wordt ingezet en – hoewel continu metend binnen de meetperiode – in essentie één enkele waarde voor de relatief korte, afgebakende meetperiode produceert
Discontinue meetmethode	Een methode die één meetresultaat (een verzamelwaarde) produceert over een afgebakende periode. Voorbeelden van discontinue meetmethoden zijn ammoniakbemonstering in wasflessen gevolgd door spectrofotometrie, luchtbemonstering gevolgd door olfactometrie voor geur en gravimetrische metingen voor stof
Downtime	Tijdsduur van buiten werking zijn (zie ook: uptime)
Eindafdeling	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
Emissiecomponent	Verzameling van luchtverontreinigende stoffen (ammoniak, (fijn)stof), broeikasgassen (methaan, lachgas), geur, bioaerosolen en andere ondersteunend te meten stoffen zoals koolstofdioxide
Emissiefactor	Een juridische grootheid van emissie die door een overheid wordt vastgesteld in regelgeving
Empty Bed Residence Time	Lege-bed-verblijftijd, uitgedrukt in seconden. Het is de verblijftijd van de ventilatielucht in een (leeg gedacht) luchtzuiveringssysteem, berekend als de verhouding tussen het volume van het lege systeem en de gasstroom
Equivalente Methode (EM)	Meetmethode waarvan voor een zeker toepassingsgebied aangetoond is dat deze (eventueel na correctie) gelijkwaardige resultaten geeft aan de Standaard Referentie Methode
Gecombineerd luchtwassysteem	Installatie waarin de ventilatielucht uit een stal door twee of meer trappen wordt gestuwd (combinaties van: waterwassing, biologische wassing, chemische wassing, biobed) waarbij luchtverontreinigende stoffen (primair ammoniak en geur, secundair ook fijnstof) worden afgevangen en al dan niet omgezet in andere verbindingen
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)

Kwantificatielimiet (Limit of quantification; LOQ)	De detectielimiet (limit of detection; LOD) en kwantificatielimiet (limit of quantification LOQ) zijn begrippen die worden gebruikt om de laagste concentratie van een meetgrootheid te beschrijven die betrouwbaar kan worden gemeten met een meetmethode. De kwantificatielimiet is de laagste concentratie die betrouwbaar gekwantificeerd kan worden ten opzichte van een achtergrondwaarde of nulwaarde, bepaald als 10 maal de standaardafwijking (σ) over de meetwaarden verkregen door het driemaal aanbieden van een nulconcentratie (LOD = 10 * σ_{blanco}; een signaal-ruisverhouding van 10:1)
Luchtbehandelingssysteem of -techniek	Installatie waarin ventilatielucht kan worden gereinigd, verwarmd, gekoeld, gedroogd en/of bevochtigd
Luchtzuiveringssysteem of -techniek, luchtreinigingssysteem of -techniek	Installatie waarin ventilatielucht kan worden gereinigd. Een luchtzuiveringssysteem is een luchtbehandelingssysteem.
Managementmaatregel	Emissieverlagende maatregel die te maken heeft met de bedrijfsvoering in plaats van de (technische) bedrijfsuitrusting (waaronder ruwbouw, huisvestingssysteem, staltechniek of nageschakelde luchtzuiveringstechniek). Managementmaatregelen liggen bijvoorbeeld in het domein van voeding, klimaat, ventilatie, hygiëne, mest en fokkerij
Meetcampagne	De verzameling van alle voorbereidingen, metingen, dataverwerking, data-analyse en rapportering uitgevoerd volgens vooraf opgestelde meetplannen in praktijkstallen
Meetdag	De dag waarop een monster (staal) genomen wordt of een meting uitgevoerd wordt, onafhankelijk van de duur van een monstername of meting
Meetlocatie	Zie onderzoekslocatie
Meetperiode	De tijdsduur afgebakend door de start van de eerste metingen tot het einde van de laatste metingen
Meetrichtlijn	Een generiek document dat algemene principes en methoden beschrijft om emissies, emissiereducties of verwijderingsrendementen op correcte wijze te bepalen
Meetwaaier	Instrument voor het bepalen van de hoeveelheid lucht die door (een deel van) een mechanisch geventileerd stalgebouw gevoerd wordt, zie ook ventilator. Ook wel aangeduid als meetventilator respectievelijk werkventilator, omwille van de duidelijkheid worden deze termen in dit document niet gebruikt
Nageschakelde luchtzuiveringstechniek	Een techniek die nageschakeld wordt aan de ventilatiestroom uit het huisvestingssysteem om componenten uit de luchtstroom te verwijderen. Voorbeelden: luchtwassers, biobedden, droogfilters, elektrostatische precipitatoren, warmtewisselaars en mestdroogtunnels
Onderzoekslocatie	Geografisch adres waar een veehouderijbedrijf staat met één of meerdere stallen, met eventueel afdelingen binnen stallen, en dat geïncludeerd wordt in een steekproef van bedrijfslocaties die bemeten worden voor het bepalen van een emissie, emissiereductie of verwijderingsrendement ten behoeve van een algemene erkenning. Synoniem: meetlocatie
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
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 dan wel 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 filters, geplaatst in filtercassettes
Total Suspended Particles	Verouderde term gebruikt door de US-EPA, vóór introductie van de term PM_{10}: zwevende vloeibare en vaste deeltjes met aerodynamische diameters tussen 25 en 50 micrometer, afhankelijk van windsnelheid en windrichting. TSP komt ongeveer overeen met PM_{35}
Tussenafdeling	Afgesloten 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
Ventilatiedebiet	De hoeveelheid lucht dat per tijdseenheid, en eventueel eenheid van productie, door een stalgebouw wordt gevoerd
Water(lucht)wasser	Installatie waarin de ventilatielucht uit een stal door een waspakket of watergordijn wordt gestuwd met water als wasvloeistof. Water(lucht)wassers verwijderen voornamelijk (fijn)stof uit de ventilatielucht
Ventilator	Apparaat dat voor een geforceerde luchtstroom in (een deel van) een stalgebouw zorgt en daarmee luchtverversing
Zuiverheid	De mate waarin een proefopzet het effect van een interventie kan onderscheiden van effecten van andere (verstorende) factoren

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

Versie

April 2026

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 luchtzuiveringssystemen. Uit de periode 2011-2017 bestonden hiervoor in Nederland zes Wageningen Livestock Research Rapporten; één rapport per emissiecomponent. 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. Deel A richt zich hierbij op algemene erkenningen van huisvestingssystemen, staltechnieken en managementmaatregelen. Deel B richt zich op algemene erkenningen van nageschakelde luchtzuiveringssystemen. Verschillen in de aard van de toegepaste interventies vragen om andere proefopzetten, meetstrategieën, meettechnieken en rekenwijzen. In deel A worden absolute emissiegetallen verkregen en in deel B verwijderingsrendementen, voor generiek gebruik in regelgeving of (nationale) emissieregistraties. Dit in contrast met deel C dat emissiemonitoring op een specifiek bedrijf of stal beschrijft in het kader van een doelvoorschriftvergunning.

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. Het separaat bepalen van enterische methaanemissies (pens- en darmfermentatie) uit het dier, bijvoorbeeld aan de hand van zogenaamde sniffers, is geen onderdeel van de scope van dit document.

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 bevuiling 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 onderzoekslocatie;
- het opstellen van een meetplan per onderzoekslocatie;
- het toetsen of een onderzoekslocatie zal voldoen aan de landbouwkundige randvoorwaarden;
- 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 onderzoekslocatie bijgehouden technisch logboek (zie volgende actor);
- het berekenen van de uptime en downtime van de interventie.

De onderzoekslocatie is verantwoordelijk voor:
- het verzamelen en beschikbaar stellen van de informatie nodig voor het opstellen van een beschrijving van de 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 moet een meetinstantie aantonen dat de uitgevoerde metingen van goede kwaliteit zijn door te voldoen aan minimaal één van de onderstaande voorwaarden:

Voorwaarde A: beschikken over een ISO/IEC 17025 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. De volgende prestatiekenmerken moeten per gemeten component of variabele worden bepaald:
  - juistheid;
  - detectie- en kwantificatielimiet;
  - bereik waarin correcte meting gegarandeerd kan worden;
  - meetonzekerheid.

  De bijkomende minimale vereisten voor de monstername en analyse worden per gemeten component vermeld in hoofdstuk A7.
- Indien beschikbaar, wordt deelgenomen aan relevante ringtests.

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 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 1.5.5. Het opstellen van een meetplan per 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 moeten worden zijn terug te vinden op de 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 beoordeling van een meetplan

Het wordt sterk aanbevolen om, vooraleer meetlocaties definitief vast te leggen en metingen op te starten, de meetplannen steeds te laten beoordelen door het WeComV. Een aanvrager kan een meetplan laten beoordelen door het WeComV door het meetplan samen met de systeembeschrijving in te dienen bij de VLM. Nadere instructies hiervoor zijn te vinden op de VLM-website: Emissiereducerende maatregelen voor de veeteelt > Aanvraagprocedure.

Informatie in verband met de beoordelingsprocedure van het meetplan door WeComV is terug te vinden op de website van het WeComV: https://wecomv.be/nl/meetrichtlijnen.

A3 Beschrijving onderzoekslocatie en te onderzoeken interventie

A3.1 Beschrijving onderzoekslocatie

Voorafgaand aan het onderzoek stelt de meetinstantie van elke 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 (m^2) 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 (m^3)
  Drijfmestopslagcapaciteit per dierplaats (m^3/dierplaats)
- Beschrijving van aanwezige vormen van thermische isolatie

Dieren

- Diersoort, diercategorie
- Ras dieren en/of type kruising
- Het geslacht van de dieren. Als beide geslachten aanwezig zijn: of ze gemengd of gescheiden worden gehuisvest (bijvoorbeeld in hokken binnen afdelingen). Ook moet (wanneer relevant) worden aangeven of mannelijke dieren (chemisch) worden gecastreerd.
- Aantal dierplaatsen: het aantal geplaatste dieren aan het begin van een groeironde en/of het aantal dieren dat in de stal aanwezig mag zijn volgens geldende wet- en regelgeving
- Het 'dierplaatsoppervlak': het leefoppervlak beschikbaar voor één dier (gangbaar bij rundvee, varkens en melkgeiten) in m^2/dierplaats of het aantal geplaatste dieren per m^2 vloeroppervlak (gangbaar bij pluimvee)
- 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, frequentie en mate van mestverwijdering net als frequentie van mixen van de mest indien van toepassing
- Beschrijving voersysteem
- Beschrijving drinksysteem
- Beschrijving verwarmingssysteem

- Beschrijving koelsysteem (bijvoorbeeld steunventilatoren, nevelkoeling, pad cooling, vloerkoeling, enzovoort)
- 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 (m^3/uur), werking (aan/uit, traploos), regeling (frequentiegeregeld, spanningsgeregeld, handmatig) van ventilatoren
- Merk, type, aantal van meetwaaiers en smoorunits
- Ventilatie-instellingen en ventilatieregime (opbouw van ventilatoren/ventilatorgroepen)
- Temperatuurinstellingen

Bedrijfsmanagement
- Diermanagement: bijvoorbeeld het wekensysteem bij varkens en het gestuurd of vrij koeverkeer bij melkkoeien
- Voersoorten of rantsoensamenstelling en voeradditieven, inclusief aandelen van ingrediënten in het rantsoen en chemische en nutritionele samenstelling (ruw eiwit, enzovoort)
- Voertijden, ad libitum of gerantsoeneerd, aanschuiftijden
- Watertijden
- Strooiselgebruik: soort, hoeveelheid, frequentie en manier van verspreiding
- Beweiding: aantal uren per jaar, gangbare tijdsverdeling over de dag
- (overdekte) Uitlopen: toegangstijden
- Melktijden
- Wijze en frequentie van mestverwijdering
- Het lichtregime (aantal uren licht versus aantal uren duisternis: XXL:XXD) en de verlichtingstijden (tijdstippen van begin en einde van lichtperioden)
- 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

Aangeraden wordt in openbare rapportages geen visualisaties op te nemen waarop elementen te zien zijn die informatie bevatten over de identiteit van de onderzoekslocatie, zoals: personen, oormerknummers, kentekenplaten van voertuigen, bedrijfsaanzichten of niet-relevante omgevingskenmerken buiten de bedrijfslocatie. Indien nodig kunnen dergelijke elementen onherkenbaar worden gemaakt op de visualisatie.

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 vormgegeven 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, enzovoort (welke is het);
- de aspecten waarin de interventie verschilt van eerdere modellen/typen 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 etcetera;
- 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, enzovoorts);
- visualisaties van de interventie via 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 verstorende effecten van niet aan de interventie verbonden factoren juist zo veel mogelijk worden geminimaliseerd. De proefopzetten staan weergegeven in Figuur A1 in afnemende volgorde van zuiverheid. Het uitgangspunt is dat er een proefopzet gekozen wordt met de hoogst mogelijke zuiverheid. De meetinstantie moet motiveren waarom voor een bepaalde proefopzet werd gekozen en (indien van toepassing) waarom werd afgeweken van de proefopzet met een zo hoog mogelijke zuiverheid.

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 zuiverdere 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. Op basis van ervaringen met vergelijkende meetcampagnes in het verleden zijn de beschreven case-control proefopzetten, met de daarbij genoemde aantallen onderzoekslocaties en discontinue metingen, in staat om emissiereducties van ongeveer 20% en hoger statistisch significant aan te tonen. Bij reductiepercentages lager dan ongeveer 20% wordt statistische significantie alleen bereikt als de variatie tussen metingen relatief klein is. Bij reductiepercentages kleiner dan ongeveer 10% schiet de statistische power van de beschreven proefopzetten in de meeste gevallen te kort. Voor het bepalen van verwachte reducties kleiner dan 20% wordt aangeraden het aantal onderzoekslocaties en metingen te vergroten.

Naast een proefopzet met een zo zuiver mogelijke vergelijkingsbasis en aandacht voor de omvang van het effect dat aangetoond moet worden, is het aantal onderzoekslocaties een belangrijk aspect. Het minimale aantal te includeren onderzoekslocaties wordt besproken in paragraaf A4.4.

Hierna volgen beschrijvingen van de proefopzetten en hun criteria. Voor proefopzetten 1a, 1b en 2 moet een huisvestingssysteem worden toegepast dat een emissiefactor heeft op basis van metingen volgens een meetprotocol van 2011 of recenter (zie paragraaf 1.1) waarbij metingen zijn verricht op tenminste twee bedrijfslocaties bij een case-control proefopzet of op tenminste vier bedrijfslocaties bij een observationele 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.

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 (Figuur A4.1, bovenste paneel linksboven) of in een case-stal binnen een bedrijf (Figuur A4.1, bovenste paneel rechtsboven). 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 verstorende 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.

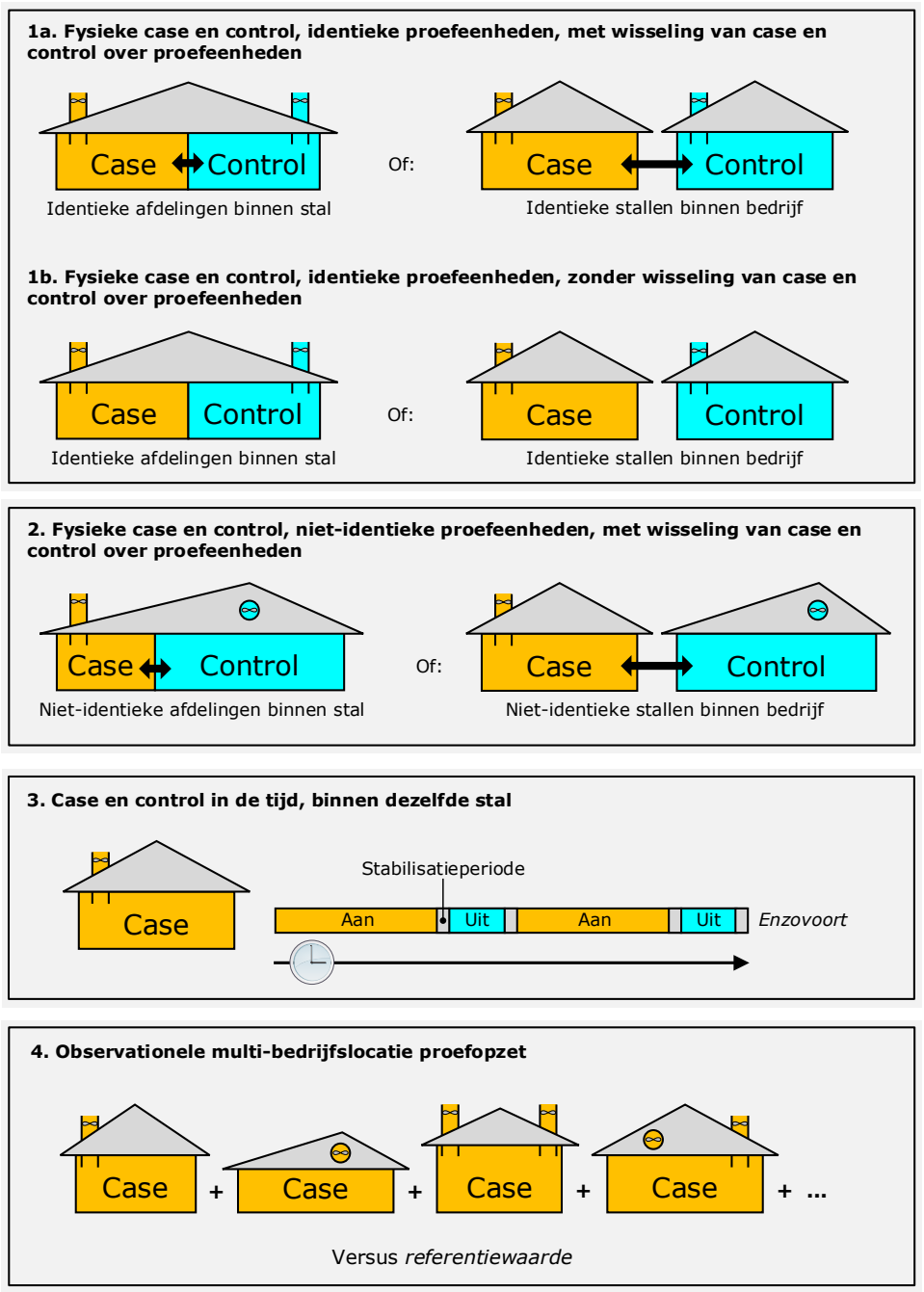
Het identiek zijn betreft alle aspecten van de afdeling of stal, zoals de ruwbouw inclusief thermische isolatie en daglichttoetreding, het huisvestingssysteem, de inrichting/installaties, de dieren (ras, leeftijd, voorgeschiedenis), het voeder (wijze en frequentie van voeren, hoeveelheid en samenstelling 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 en rapportage.

Het wisselen van de interventie kan plaatsvinden door deze te verplaatsen 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 onderzoekslocatie) een weloverwogen en onderbouwde keuze worden gemaakt. Bij diersoorten met groeipatronen 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 paragraaf 1.1) waarbij metingen zijn verricht op tenminste twee bedrijfslocaties bij een case-control proefopzet of op tenminste vier bedrijfslocaties bij een observationele 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 (op basis van minimaal 4 locaties) te geven; of b) er wordt in deze situatie toch gekozen voor proefopzet 4.



Figuur A4.1 *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 verstorende effecten van afdelingen of stallen de resultaten kunnen vertekenen. 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, varkens en melkgeiten)
- de samenstelling en hoeveelheid voer;
- strooiselgebruik: soort, hoeveelheid, frequentie en manier van verspreiding;
- de temperatuurinstellingen en ventilatie-instellingen;
- voertijden, aanschuiftijden, 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 moet verder 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, meetduur 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 paragraaf 1.1) waarbij metingen zijn verricht op tenminste twee bedrijfslocaties bij een case-control proefopzet of op tenminste vier bedrijfslocaties bij een observationeel 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 onderzoekslocaties te vergroten. Zie voor het aantal onderzoekslocaties per (combinatie van) proefopzet(ten) paragraaf A4.4.

Indien wisseling van de interventie over de niet-identieke proefeenheden van deze proefopzet niet mogelijk is, kan er **geen** case-control onderzoek worden uitgevoerd op betreffende onderzoekslocatie. Een proefopzet met niet-identieke proefeenheden waarbij de interventie niet zou worden gewisseld 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. Een meting in de aan-periode en de bijbehorende 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 moeten zo dicht mogelijk bij elkaar 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) moet de volgorde van aan- en uit-metingen 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 enkel 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 enkel korte opstarteffecten bestaan, zodat de stabilisatieperiodes kort gehouden kunnen worden.** De wisselfrequentie en de duur van aan-, uit- en stabilisatieperioden wordt onderbouwd gekozen en toegelicht in zowel het meetplan als de uiteindelijke rapportage. Zie voor het aantal onderzoekslocaties per (combinatie van) proefopzet(ten) paragraaf A4.4.

A4.2.5 Proefopzet 4. Observationeel multi-bedrijfslocatie design

Proefopzet 4 heeft een redelijk niveau van zuiverheid die verder afhankelijk is van het aantal onderzoekslocaties: de mate van zuiverheid neemt toe met het aantal onderzoekslocaties. Er wordt een interventie toegepast in een afdeling of in een stal van meerdere onderzoekslocaties. Op deze onderzoekslocaties is geen controleafdeling of controlestal aanwezig. Er wordt een absoluut niveau van emissie vastgesteld in deze steekproef van *n* onderzoekslocaties zodat deze proefopzet observationeel in plaats van experimenteel van aard is. Dit niveau is de uitkomst. Eventueel kan deze uitkomst vergeleken worden met een referentiewaarde, dat wil zeggen: een gemiddelde emissie van een ander (bijvoorbeeld conventioneel) huisvestingssysteem. Het vergelijken van steekproefgemiddelden van twee kleine steekproeven (bijvoorbeeld elk vier onafhankelijke onderzoekslocaties) heeft echter een zeer beperkte zeggingskracht. De relatief lage mate van zuiverheid heeft enerzijds te maken met de kleine steekproef van onderzoekslocaties en anderzijds met het feit dat de emissie van veehouderijen met een identiek huisvestingssysteem een grote mate van variatie (tussenbedrijfsvariatie) kent. Indien de referentiewaarde langer geleden vastgesteld is, kan tevens sprake zijn van trends in bijvoorbeeld genetica, management of productieniveau die tot gemiddeld hogere of lagere emissies leiden. Om die reden heeft het waar mogelijk toepassen van een case-control opzet, of combinatie, steeds de voorkeur. Zie voor het aantal 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. De resultaten van deze gelijkwaardigheidstoets moeten worden gerapporteerd (als bijlage) in het meetrapport.

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 CO_2. Als een emissiecomponent met een continue meetmethode gemeten kan worden, moet ook die component continu worden gemeten. Als een emissiecomponent alleen discontinu kan worden gemeten wordt de gelijkwaardigheid beoordeeld op basis van de vier basisvariabelen (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, ventilatiedebiet en CO_2-concentratie). Continue metingen vinden plaats met een meetsysteem dat voldoet aan de criteria zoals beschreven in deel D van dit rapport. De continue metingen 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) of equivalente methode (EM) 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 CO_2-concentratie, de emissies van ammoniak, methaan en/of lachgas, en de ratio's tussen CO_2 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 minimaal 80% valide resultaten van waarnemingen die zijn verricht gedurende dat 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 statistische 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 onderzoekslocaties

Afhankelijk van de proefopzet worden de volgende aantallen 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 onderzoekslocaties

Proefopzet 1b:
- ≥ 3 onderzoekslocaties

Proefopzet 2:
- ≥ 3 onderzoekslocaties

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

Proefopzet 4:
- ≥ 4 onderzoekslocaties

Bij proefopzetten 1a, 1b en 2 kan maximaal één onderzoekslocatie (dus 1 case proefeenheid en 1 control-proefeenheid) vervangen worden door twee onderzoekslocaties 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 onderzoekslocaties in meetcampagnes in relatie tot onzekerheid van het emissiecijfer, meetinspanningen en kosten

De één-locatie-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 Ouwerkerk 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 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 geïncludeerd (zo moest bijvoorbeeld een meetcampagne bij vleesvarkens twee volledige mestrondes beslaan waarvan één van beide mestrondes een startdatum in het tweede kwartaal moest hebben om de warmere zomerperiode te includeren). In deze meetperiodes werden ammoniakconcentraties continu gemeten. Aanvankelijk werd gedacht dat met deze één-locatie-strategie – tezamen met landbouwkundige randvoorwaarden en in de tijd gespreide metingen – een voldoende accuraat en representatief emissiegetal werd verkregen 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 onderzoekslocaties bemeten (bij de overige huisvestingssystemen was dit één onderzoekslocatie), 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-locatie-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 onderzoekslocaties 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 NH_3/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 onderzoekslocatie 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-locatie-strategie. In de multinationale meetprotocollen van VERA ten aanzien van emissies van huisvestingssystemen (VERA, 2018a) en emissiereducties van nageschakelde luchtzuiveringssystemen (VERA, 2018b) is deze aanpak ook opgenomen. In deze protocollen moeten respectievelijk minimaal vier (observationele proefopzet) en twee onderzoekslocaties (met een case-control proefopzet) worden bemeten. Het principe van de multi-locatie-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 onderzoeks*locaties*
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 onderzoekslocaties 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.

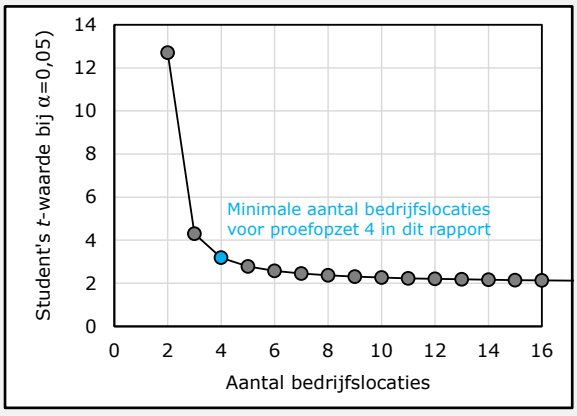
Bij het aantal onderzoekslocaties in een meetcampagne moet het volgende worden bedacht:
• Een emissie of emissiereductie van één onderzoekslocatie is de kleinst mogelijke trekking uit een populatie van bedrijfslocaties. Het levert geen informatie over tussenbedrijfsvariatie. Er kan geen onzekerheidsmarge (betrouwbaarheidsinterval) voor het gemiddelde worden gegeven omdat daarvoor de informatie van meerdere bedrijfsgemiddelden ontbreekt.
• Bij twee onderzoekslocaties 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 ± 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:

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

Met:

- $\bar{E}_{ij}$= de overallgemiddelde 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 υ vrijheidsgraden ($\upsilon = n - 1$)
- n = het aantal bemeten bedrijfslocaties (het aantal locatiegemiddelden)
- SE = de standard error (standaardfout) van het overallgemiddelde. 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; $\upsilon = n - 1$) bedraagt de *t*-waarde maar liefst 12,71. Dit betekent dat de grenzen van het 95% betrouwbaarheidsinterval op 12,71 * 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 deel A 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 CO_2, 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 productiecyclus 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 optimaliseren 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 observationele 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 de rijksoverheid 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 (resulterend in een kleinere tussenbedrijfsvariatie en daarmee precisie) en die bij grotere aantallen bedrijfslocaties zijn bemeten (resulterend 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 spreidingsmaten (minimum, maximum, standaardafwijking binnen een locatie en standaardafwijking tussen locatiegemiddelden) en precisiematen (70%, 80%-, 90%-, 95%- en 99%-betrouwbaarheidsintervallen). Deze spreidingsmaten en precisiematen 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 de onderzoekslocatie

Onderzoekslocaties moeten voldoende technisch accuraat te bemeten zijn. Dit betekent onder andere het volgende.

- Het aantal emissiepunten in het stalgebouw moet dusdanig zijn dat er een representatieve bemonstering/meting van de uitgaande lucht kan plaatsvinden. Dit moet beoordeeld en beargumenteerd worden per onderzoekslocatie 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. Bij proefopzet 1a is het niet verplicht om de gelijkwaardigheid van afdelingen aan te tonen. Evenwel wordt bij deze proefopzet de controle en behandeling gewisseld van afdeling om het afdelingseffect uit te sluiten. Gezien het mogelijke afwijkende emissiegedrag bij eindafdelingen, kan dit het moeilijker maken om het reducerend effect van de interventie aan te tonen. Het is daarom af te raden om eindafdelingen te gebruiken in proefopzet 1a.
- 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 paragraaf A5.3); 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, concept of productiewijze. Deze methode is de best mogelijke benadering van de emissie van 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 en landbouwkundige randvoorwaarden

Onderzoekslocaties waar metingen plaatsvinden in het kader van een algemene erkenning (de steekproef van bedrijven) moeten **representatief** zijn voor de veehouderijsector (de populatie van bedrijven) waarvoor 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 onderzoekslocaties moeten voldoen aan de landbouwkundige randvoorwaarden zoals beschreven in bijlage A1. Deze zijn in voorliggend document gebaseerd op de Nederlandse situatie. De Vlaamse randvoorwaarden wijken hier mogelijk van af. In dat geval kan de afwijking in het meetplan gemotiveerd worden.

De landbouwkundige randvoorwaarden bevatten enkele criteria die **statisch** zijn voor een bedrijf. Een voorbeeld daarvan is het aantal dierplaatsen bij vleeskuikens, dat minimaal 15.000 moet zijn voor een praktijkbedrijf en 1.000 voor een case-control proefopzet in een proeffaciliteit. Een statisch criterium kan éénmalig worden getoetst voorafgaand aan de meetcampagne.

De meeste criteria, echter, zijn **variabel in de tijd**. Voorbeelden daarvan zijn criteria voor het tankmelkureumgehalte bij melkkoeien (minimaal 15 mg/100 mL), de CO_2 concentratie in de lucht van varkensstallen (maximaal 3.000 ppm) of de uitval bij vleeskuikens (maximaal 5% per ronde). De grootheden

uit deze criteria moeten **gemeten of vastgelegd** worden met een frequentie die mogelijk en passend is. Deze data moeten **gerapporteerd** worden in (een bijlage bij) de rapportage van de meetcampagne. De criteria zijn bedoeld om aan te **voldoen tijdens het grootste deel van de duur van de meetcampagne**, én daarmee ook gemiddeld over de meetcampagne, als borging van de **representativiteit** van de onderzoekslocatie voor de populatie van bedrijven in de veehouderijsector. De criteria zijn niet bedoeld als selectiecriterium om specifieke uur- of dagwaarden (van debiet, concentratie en emissie) te excluderen uit dan wel includeren in de dataset.

A5 Meetstrategie

A5.1 Uitgangspunten

Het uitgangspunt in deel A is dat emissies indien technisch 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 dure analyzers. Naast de continue meting worden er per onderzoekslocatie minimaal zes discontinue metingen met de SRM of een EM uitgevoerd. Dit als frequente controle van de continue (sensor)meetmethode en om een gepaarde dataset te verkrijgen van het continu (sensor)meetsysteem en de SRM/EM waarmee de gebruikte correctie van het continu (sensor)meetsysteem naar SRM/EM geverifieerd kan worden of specifiek vastgesteld voor de meetcampagne in kwestie. 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.

A5.2 Continue metingen (ammoniak, methaan)

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 (fijnstof, geur, bioaerosolen)

Discontinue metingen hebben een duur van 24 uur of een veelvoud van 24 uur (dus 24, 48, 72, 96, …, enzovoort, uur; met uitzondering van geur: tenminste één uur tussen 09:00 en 13:00 uur). Er worden minimaal zes van dergelijke metingen uitgevoerd per onderzoekslocatie, gespreid over het jaar en de productieperiode van de dieren. De meetperiodes van de verschillende onderzoekslocaties hoeven niet samen te vallen met het kalenderjaar en de aanvang mag verschillen per locatie. 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 (Tabel A5.1), diercategorieën met een rechtlijnig toenemend emissiepatroon (als gevolg van groei gedurende een productieronde; Tabel A5.2), en diercategorieën met een exponentieel toenemend emissiepatroon (als gevolg van groei gedurende een productieronde; Tabel A5.3).

Tabel A5.1 *Dieren met een gemiddeld stabiel emissiepatroon.*

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
	Pony's van 3 jaar en ouder
	Pony's jonger dan 3 jaar

Tabel A5.2 *Dieren met een rechtlijnig toenemend emissiepatroon.*

Hoofdcategorie (Omgevingsregeling, bijlage V)	Diercategorie	Gemiddelde groeiperiode (dagen)
HA. Rundvee	Vleeskalveren jonger dan een jaar	
	- Blankvleeskalveren	Ca. 190
	- Rosévleeskalveren jong	Ca. 220
	- Rosévleeskalveren 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 (ook opfokberen en opfokzeugen)	110
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 08-01-2021) en Vlaanderen (sinds 01-12-2023) niet langer toegestaan.

Tabel A5.3 *Dieren met een exponentieel toenemend emissiepatroon.*

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 onderzoekslocatie moeten minimaal zes metingen worden uitgevoerd. Metingen duren elk 24 uur of een veelvoud daarvan. Voor geur één uur tussen 09:00 en 13:00. De meetdagen moeten vallen in

opeenvolgende tijdvakken van twee maanden., Binnen een tijdvak wordt een meting op een steekproefsgewijs (at random) gekozen dag uitgevoerd. Per onderzoekslocatie moet de periode tussen twee opeenvolgende meetdagen minimaal 14 dagen zijn.

Diergroepen met een rechtlijnig toenemend emissiepatroon
Op elke onderzoekslocatie moeten minimaal zes metingen (van elk 24 uur of een veelvoud daarvan; voor geur één uur tussen 09:00 en 13:00) in opeenvolgende tijdvakken van twee maanden worden uitgevoerd. Aanvullend geldt de voorwaarde dat binnen elke onderzoekslocatie 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. Tenminste één van de zes metingen op een locatie moet plaatsvinden in de laatste twee weken van de groeironde. Per onderzoekslocatie moet de periode tussen twee opeenvolgende meetdagen minimaal 14 dagen zijn.

Diergroepen met een exponentieel toenemend emissiepatroon
Op elke onderzoekslocatie moeten minimaal zes metingen (van elk 24 uur of een veelvoud daarvan; voor geur één uur tussen 09:00 en 13:00) in opeenvolgende tijdvakken van twee maanden worden uitgevoerd. Aanvullend geldt de voorwaarde dat binnen elke onderzoekslocatie 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 moet 1/6^{e} van de metingen plaats 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. Tenminste één van de zes metingen op een locatie moet plaatsvinden in de laatste drie dagen van de groeironde.

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 moet worden afgestemd dat de gemiddelde emissie of emissiereductie uit de waarnemingen kan worden berekend.

A5.4 Hybride (zowel continu als discontinu) meten bij een melkveebedrijf met beweiden

Als een emissiecomponent van interesse continu bemeten kan worden en de melkkoeien staan permanent opgestald, dan moet er (jaarrond) continu worden gemeten. Melkveebedrijven met weidegang komen echter ook in aanmerking als onderzoekslocatie. Als een emissiecomponent van interesse continu bemeten kan worden en de melkkoeien worden in het weideseizoen geweid, dan moet er continu gemeten worden in de opstalperiode en discontinu in het weideseizoen. De opstalperiode waarin continu wordt gemeten moet minimaal zes maanden beslaan. De weideperiode waarin discontinu wordt gemeten mag maximaal zes maanden beslaan. Een discontinue meting betekent: maandelijks een meting van de emissie over minimaal 24 uren of een veelvoud daarvan waarbij de koeien worden opgestald. Metingen moeten uitgevoerd worden met een tussentijd van een maand ± 4 dagen. De metingen tijdens de weideperiode kunnen worden uitgevoerd met het continue meetsysteem dat reeds aanwezig is voor de metingen tijdens de opstalperiode, de SRM of een EM. De jaargemiddelde emissie moet worden bepaald op basis van de gemiddelde emissie tijdens de opstalperiode en de gemiddelde emissie tijdens de weidegangperiode, gewogen naar de duur van beide perioden in dagen.

Toelichtend kader: beweiding op Nederlandse melkveebedrijven

Het weideseizoen in Nederland loopt van begin of midden april tot en met oktober en duurt dus zo'n zes maanden. Start en einde verschillen tussen jaren, regio's en bedrijven, afhankelijk van de weersomstandigheden (temperatuur, neerslag), draagkracht van de bodem en grasgroei. Tussen oktober en april (eveneens zo'n zes maanden) zijn de koeien opgestald. Volgens cijfers van het CBS en ZuivelNL

deed in 2025 78,2% van de Nederlandse melkveebedrijven aan beweiden, waarvan 71,7% aan 'volledige weidegang' (alle koeien weiden gedurende minimaal 120 dagen per jaar minimaal 6 uren per dag). Biologische bedrijven weiden gemiddeld ongeveer op 200 dagen en totaal ongeveer 2560 uren per jaar. Op niet-biologische bedrijven is dit gemiddeld ongeveer op 155 dagen en 1250 uren per jaar. Op biologische bedrijven doet ongeveer 40% aan dag en nacht weiden versus 60% aan overdag weiden. Op niet-biologische bedrijven is dit ongeveer 12% versus 88%. In 2025 deed ongeveer 22% van de bedrijven aan permanent opstallen. De bedrijven die koeien permanent opstallen zijn vaker bedrijven met relatief veel koeien. De 22% van de bedrijven houdt totaal zo'n 30% van de anderhalf miljoen melkkoeien in Nederland.

Het opstallen van koeien tijdens het weideseizoen gebeurt op veel melkveebedrijven eens of enkele malen per jaar bij aanhoudend slecht weer van veel neerslag en/of harde wind. Onder die omstandigheden is opstallen verstandig omdat koeien minder gras zouden opnemen en de natte bodem zouden vertrappen. Het in het weideseizoen incidenteel opstallen van melkkoeien gebeurt dus al wel, maar heeft een aantal nadelen. Die dag moet er vers gras worden gemaaid en voor het voerhek worden aangeboden of de (normale) bijvoedering in de stal met graskuil, snijmaiskuil, en andere producten, moet worden vergroot naar het volledige rantsoen voor die dag. Daarop moet de bedrijfsvoering van een meetdag worden ingesteld. De circa 4 tot 7 meetdagen waarop de melkkoeien worden opgestald tijdens het weideseizoen tellen niet mee in de 120 dagen norm voor weidemelk in Nederland. Dit betekent dat deze dagen moeten worden gecompenseerd in de rest van het weideseizoen. Het hybride meten bij melkveebedrijven met weidegang kost dus extra inspanningen en aanpassingen, maar als deze voor een melkveehouder overkomelijk zijn, kan dat melkveebedrijf als onderzoekslocatie worden opgenomen in een meetcampagne.

A5.5 Meetposities

A5.5.1 Uitgangspunten

De basis van het berekenen van de emissie is het product van ventilatiedebiet en het verschil in de concentratie van de emissiecomponent tussen de uitgaande en de ingaande lucht (zie ook hoofdstuk A8). Daartoe moet de concentratie van de emissiecomponent tenminste worden gemeten in de luchtstroom die het gebouw verlaat. Wanneer het ventilatiedebiet wordt bepaald met de CO_2-tracergasratiomethode moet zowel in de uitgaande als ingaande luchtstroom de concentratie van CO_2 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.

A5.5.2 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 kunnen rookproeven en luchtsnelheidsmetingen nuttig zijn.
- 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 vijzels. 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, CO_2) aangeschakeld, uitgeschakeld, bij- of terug geregeld?

A5.5.3 Meetposities voor CO_2 en emissiecomponenten 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 (NH_3, CH_4, N_2O, CO_2) 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 50 meter wordt uitgerust met minimaal meetposities op 10, 20, 30 en 40 meter (vier stuks). Het minimale aantal meetposities over de lengte van het stalgebouw bedraagt vier. Als een stal kleiner is dan 50 meter lengte, worden tenminste vier meetposities gehanteerd in ongeveer gelijke afstanden van elkaar en (kop-/eind)gevels. Het gaat erom de variabiliteit die over de lengte van het stalgebouw kan voorkomen te includeren in de bemonstering/meting. Als monsternameleidingen langs de zijkanten van de stal worden aangebracht, moeten deze op meer dan 2 meter uit de zijgevels worden gepositioneerd. 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 het 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 en open-pad optische systemen 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 grof stof (inhaleerbaar stof, total suspended particles, totaalstof) en fijnstof (PM_{10}, $PM_{2.5}$) wordt de uitgaande lucht bemonsterd of bemeten op meetposities op minimaal elke 20 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, 30 en 50 meter (drie stuks). Het minimale aantal meetposities over de lengte van het stalgebouw bedraagt twee.

A5.5.4 Meetposities voor CO_2 en emissiecomponenten 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 het centrale luchtkanaal zijn voorzien van zogenaamde smoorkleppen 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 monsternameleiding 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.

Voor stof geldt dat niet-isokinetische meetcondities zoveel mogelijk moeten worden voorkomen of geminimaliseerd. Paragraaf A7.5 bevat hierover aanwijzingen en criteria.

A5.5.5 Meetposities voor CO_2 en emissiecomponenten in de ingaande lucht

Wanneer het ventilatiedebiet wordt bepaald met de CO_2-tracergas ratiomethode moet de concentratie van CO_2 zowel in de uitgaande als ingaande luchtstroom worden gemeten. Voor de emissiecomponenten ammoniak, methaan, lachgas, grof stof (inhaleerbaar stof, total suspended particles, totaalstof) en fijnstof (PM_{10}, $PM_{2.5}$) is monstername/meting van de ingaande lucht aangeraden maar niet verplicht. Bij achterwege lating van monstername/meting van emissiecomponenten in de ingaande lucht mag deze niet gecorrigeerd worden met data uit bronnen zoals het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. 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 CO_2 of de emissiecomponent 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 CO_2 en emissiecomponent 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 aangestreken wordt, kan de werkelijke inlaatconcentratie worden onderschat. Wanneer de meetpositie voor de ingaande lucht wel door de pluim aangestreken 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 CO_2-tracergas ratiomethode, 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 CO_2-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. Meetwaaiers (referentiemethode; aanbevolen)
2. Ventilatoren met registratie
3. Tracergas ratiomethode (mits gevalideerd aan 1.)

Indien er geen geschikte meetwaaiers beschikbaar zijn omwille van de diameter van de koker van de ventilator, en de natuurlijke tracergas ratiomethode niet bruikbaar is, kan er overgegaan worden tot een alternatieve methode die beschreven en onderbouwd moet 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 meetwaaiers of ventilatoren met registratie toe te passen. Hier is de tracergas ratiomethode de enige optie.

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 CO_2-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 Meetwaaiers op ventilatoren zonder registratie

Meetwaaiers zijn groot-formaat anemometers die niet verbonden zijn met de motor van de ventilator 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 meetwaaier moet voorafgaand aan de toepassing in een meetcampagne worden gereinigd. De meetwaaier moet bij plaatsing vrij zijn van corrosie en vervuiling (stof, bloedluizen, spinnenrag, enzovoort). Lagers moeten vrij zijn van slijtage. De schoepen van de meetwaaier moeten (vrijwel) weerstandsloos draaien zonder bijgeluiden of haperingen. Tijdens de toepassing in een meetcampagne moet een meetwaaier tijdig worden gereinigd en onderhouden;
- de meetwaaier moet voorafgaand aan de toepassing in een meetcampagne gekalibreerd worden. Bij de kalibratie wordt de relatie tussen het ventilatiedebiet en de frequentie van de meetwaaier vastgesteld.

Tijdens de meting wordt de frequentie van de meetwaaier geregistreerd. Met de relatie uit de kalibratie wordt de frequentie omgerekend naar het ventilatiedebiet door de ventilatiekoker. Het kalibratieresultaat moet aan de rapportage worden toegevoegd;
- kalibratie vindt tenminste jaarlijks plaats;
- indien technisch mogelijk worden meetwaaiers gedemonteerd en gekalibreerd in een windtunnelopstelling. Wanneer het demonteren van meetwaaiers niet mogelijk is, of op grote praktische of technische bezwaren stuit, kan een in-situ meetwaaier worden gekalibreerd met een recent gekalibreerde hulpmeetwaaier die stroomopwaarts van de in-situ meetwaaier wordt geplaatst. Daarbij blijft de in-situ meetwaaier 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 hulpmeetwaaier als y-waarde, het aantal pulsen per tijdseenheid als x-variabele en een afsnijpunt (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 meetwaaier 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. Onderlinge beïnvloeding kan tevens worden tegengegaan door het breken van de luchtstroom, bijvoorbeeld met richtkruizen in de koker. Daarnaast moet een instroomrand onder aan de ventilatorkoker te worden geplaatst om wervelingen bij intrede van de stallucht te verminderen;
- de meetwaaier en de ventilatiekoker moeten van gelijke diameter zijn;
- meetwaaiers moeten op minimaal de helft van de (per ventilatiegroep) in gebruik zijnde ventilatiekokers worden geplaatst, op voorwaarde dat de ventilatoren gelijk zijn qua merk/type, leeftijd en onderhoudsstatus, en op dezelfde manier aangestuurd worden (cascaderegeling);
- de meetwaaier moet na afloop van de toepassing in een meetcampagne gekalibreerd worden. Een verloop in de waarde van de meetwaaier moet in de met de meetwaaier verkregen data lineair worden gejusteerd/geïnterpoleerd tussen start- en eindkalibratie.

A6.3 Ventilatoren met registratie

Steeds vaker zijn de ventilatoren 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 ventilator moet frequentiegeregeld zijn (een spanningsgeregelde ventilator geeft een te onnauwkeurige debietregistratie). De registratie van de ventilatoren moet gekalibreerd worden aan de hand van meetwaaiers. Hierbij moet minimaal de helft van de ventilatoren (van eenzelfde merk/type, leeftijd en onderhoudsstatus) gekalibreerd worden, zowel voor als na de metingen, door een meetwaaier te plaatsen en de ventilator over het hele bereik van instellingen (10, 20, …, 90%) te beproeven. Als alternatief kan de meetwaaier blijvend op de onderzoekslocatie worden ingezet en gerouleerd tussen ventilatoren volgens een onderbouwd gekozen roulatieschema. Op die manier wordt enerzijds geborgd dat de ventilatoren over het operationele bereik en anderzijds verschillende exemplaren gecontroleerd worden. Indien dit op praktische bezwaren stuit, moet alsnog gebruik gemaakt worden van een meetwaaier of moet de tracergas ratiomethode toegepast worden.

A6.4 Tracergas ratiomethode

A6.4.1 Algemeen principe

Bij deze methode, die gebaseerd is op de wet van behoud van massa, wordt het ventilatiedebiet als volgt afgeleid:

$$Q = \frac{P_{tracer}}{C_{tracer}^{stallucht} - C_{tracer}^{buitenlucht}} \qquad \text{(A1)}$$

Met:

- Q = ventilatiedebiet in m^3/uur
- P_{tracer} = productie tracergas in mg/uur
- $C_{tracer}^{stallucht}$ = stalluchtconcentratie tracergas in mg/m^3
- $C_{tracer}^{buitenlucht}$ = buitenluchtconcentratie tracergas in mg/m^3

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 CO_2) wordt over het algemeen aan bovenstaande 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, moet beargumenteerd worden hoe aan de randvoorwaarden van toepassing op de tracergas ratiomethode kan worden voldaan. Dit wordt hieronder verder toegelicht.

A6.4.2 Natuurlijk tracergas: bepaling van de CO_2-productie van de dieren en hun mest

Wanneer CO_2 als tracergas wordt gebruikt, moet voor de bepaling van de CO_2-productie met zowel de CO_2-productie uit de dieren als de CO_2-productie uit de mest rekening worden gehouden:

$$P_CO_2 = P_CO_{2_{Dieren}} + P_CO_{2_{Mest}} \quad \text{(A2)}$$

Met:

- P_CO_2 = de CO_2-productie op stalniveau in m^3/uur
- $P_CO_{2_{Dieren}}$ = CO_2-productie uit de dieren in m^3/uur
- $P_CO_{2_{Mest}}$ = CO_2-productie uit de mest in m^3/uur

De CO_2-productie op stalniveau (voor een standaard staltemperatuur van 20 °C) wordt bepaald met behulp van de rekenregels zoals beschreven in Bijlage A2. Wanneer de staltemperatuur tijdens de metingen afwijkt van 20 °C, wordt een correctiefactor toegepast (CIGR, 2002):

$$P_CO_{2_{Dieren\ (T=20\,^\circ C)}} = P_CO_{2_{Dieren}} * (1000 + a * (20 - T))/1000 \quad \text{(A3)}$$

Met:

- a = wegingsfactor; 4 voor melkvee, 12 voor varkens en 20 voor pluimvee
- T = staltemperatuur in $^\circ$C

Voorwaarde voor het gebruiken van de CO_2-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 CO_2-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 verstorend werken. Beïnvloeding van de CO_2-productie door andere bronnen (denk aan het gebruik van tractoren/shovels) in en rond de stal moet zoveel mogelijk worden geminimaliseerd.

A6.4.3 Natuurlijk tracergas: bepaling van de CO_2-productie van mest-/stro(oisel)laag met de statische fluxkamermethode

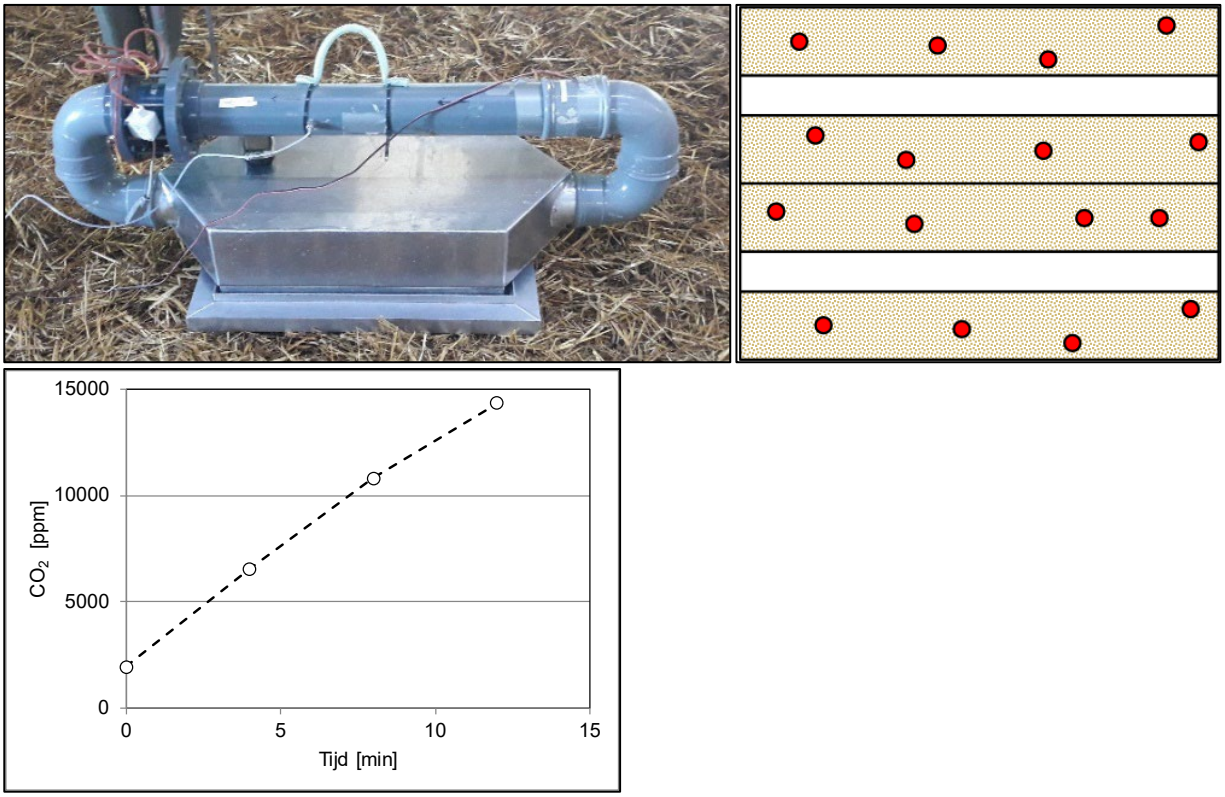
Voor stallen met drijfmest is de bijdrage uit de mest gering (10% volgens Pedersen et al., 2008). Bij potstallen (bijvoorbeeld geitenstallen) kan de mest/stro(oisel)laag (pot) een aanzienlijke en variabele bron van CO_2 zijn. In deze situaties zijn er aanvullende metingen nodig om de CO_2-productie uit de pot te bepalen. Dit kan worden gedaan door gebruik te maken van de statische (gesloten) fluxkamermethode. Bij deze methode wordt eerst een deel van de pot afgesloten voor de dieren en een frame in de pot gedrukt. Bovenop het frame wordt een fluxkamer geplaatst (zie Figuur A6.1). Dit om verstoring van de CO_2-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 A6.1). De snelheid waarmee de concentratie in de fluxkamer zich opbouwt is een maat voor de CO_2-productie uit de oppervlakte die door de fluxkamer is bedekt. Dit wordt berekend op basis van het (niet-lineaire) model van Hutchinson en Mosier (1981), waar rekening wordt gehouden met een mogelijke afname van de CO_2-productie naarmate CO_2 in de fluxkamer wordt geaccumuleerd:

$$P_CO_{2_{Pot}} = \frac{V*(C_1-C_0)^2}{A*t*(2*C_1-C_2-C_0)} * ln\left(\frac{C_1-C_0}{C_2-C_1}\right) \quad \text{(A4)}$$

Met:

- $P_CO_{2_{Pot}}$ = CO_2-productie uit de pot in g CO_2/m^2/uur
- C_0 = de concentratie op tijdstip t = 0 (plaatsing fluxkamer) in g/m^3
- C_1 = de concentratie op tijdstip t in g/m^3
- A = oppervlakte fluxkamer in m^2
- V = inhoud fluxkamer in m^3
- C_2 = de concentratie op tijdstip 2*t in g/m^3

Om een goed gemengde recirculatieluchtstroom over de 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 CO_2-productie uit de pot wordt deze procedure op verschillende plekken (minimaal 12, verdeeld over de stal) toegepast (Figuur A6.1), waardoor een gemiddelde CO_2-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 A6.1 *Boxmetingen om de CO_2-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 CO_2-productie uit de pot. Onder: voorbeeld van de toename van de CO_2-concentratie.*

Samengevat: bij potstallen moet voor het ventilatiedebiet gebruik gemaakt worden van meetwaaiers of een kunstmatig tracergas, of moet de potbijdrage aan de totale CO_2-productie voldoende kunnen worden gekwantificeerd.

A6.4.4 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 m^2 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 emissiecomponent verspreiden zich op dezelfde manier vanuit de bron door de stal naar de meetposities. Om menging van het tracergas te verbeteren moet het tracergas met behulp van gekalibreerde mass flow controllers (MFC) met perslucht worden gemengd voordat het door de injectiepunten de stal wordt ingeblazen.

Voorheen werd zwavelhexafluoride (SF_6) 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 SF_6 zeer ongewenst. Er wordt onderzoek gedaan naar alternatieven, maar de status is dat er nog geen volledig gevalideerde vervangers zijn.

A7 Meetmethoden luchtconcentraties

A7.1 Uitgangspunten

Dit hoofdstuk beschrijft Standaard Referentie Methoden (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 $PM_{2,5}$). 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 emissiemonitoring in het kader van doelvoorschriften krijgt de 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 per onderzoekslocatie minimaal zes discontinue metingen met de standaard referentiemethode (SRM) of Equivalente methode (EM) uitgevoerd om een locatiespecifieke verificatie van de toegepaste continue meetmethode te verkrijgen. Deze SRM/EM-metingen worden verspreid over zes meetdagen over het volledige jaar. Indien gebruik wordt gemaakt van de SRM, moeten per meetdag de metingen ook steeds minimaal in duplo worden 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 EN 21877, NEN 2826 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. In principe is de geldende norm de EN 21877, maar daarnaast bestaat nog steeds de NEN 2826:1999 van reeds circa 25 jaar oud die nog niet is ingetrokken. 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 kwantificatielimiet 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. Meerdere na elkaar geschakelde flessen met zure oplossing garanderen een maximale absorptie-efficiëntie. 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 kwantificatielimiet 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. 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. Afwijkingen op de bepalingen in eerder vermelde normen zijn toegelaten mits grondige validatie. Zowel de afwijking als de validatie moet in het meetplan worden opgenomen.

Voor het bepalen van de afgevangen hoeveelheid ammoniak in de zure oplossing zijn verschillende analyses mogelijk. Zo verwijst de norm EN 21877 naar spectrofotometrie (NEN-ISO 7150-1), doorstroomanalyse met spectrofotometrie (EN 11732) en ionchromatografie (EN 14911). 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 (EN ISO 15923-1, LUC-Compendium WAC/III/C/002 Bepaling van ionen met een discreet analysesysteem en spectrofotometrische detectie – ammonium, chloride, nitraat, nitriet, orthofosfaat en sulfaat).

De natchemische methode is gevalideerd onder praktijkomstandigheden over een concentratierange van 8 mg/Nm^3 tot 65 mg/Nm^3 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 kwantificatielimiet van de gebruikte analytische methode. De bemonsteringsduur en volumedebiet moeten zodanig gekozen worden dat de kwantificatielimiet kleiner is dan 0,5 ppm.

Kwaliteitsvereisten SRM

- Minimaal eens per twee jaar wordt succesvol deelgenomen aan ringtesten om de juistheid van de meting aan te tonen. Deze ringtest moet 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 moet een lektest worden uitgevoerd op elke monsternametrein. De lektest bestaat eruit de opening van de monsternameslang af te sluiten en de luchtpomp gedurende minimaal twee minuten te laten zuigen aan de gehele monsternametrein (slang, overgangsdelen, wasflessen). De flow rate tijdens deze lektest moet 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 EN 13725:2003 en vervolgens EN 13725:2022 (actuele versie). 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 m^3 lucht die door de helft van het geurpanel 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/m^3 (40 ppb). De OU_E is gebaseerd op een waarnemingsrespons en geeft geen informatie over de chemische samenstelling van de gemeten geur. Het belangrijkste kwaliteitscriterium in de EN 13725 is dat uitsluitend panelleden met individuele drempelwaarden tussen 20 en 80 ppb n-butanol tot een meting worden toegelaten (NB: circa de helft van de populatie valt buiten deze bandbreedte). Door deze selectie wordt de variatie in respons tussen panelleden teruggedrongen waardoor de precisie van de meting wordt verbeterd. Daarnaast kan dit criterium opgevat worden als een kalibratie-instrument om systematische verschillen tussen geurlaboratoria tegen te gaan en daarmee metingen met praktijkgeuren op hetzelfde niveau te krijgen. Daarbij moet overigens opgemerkt worden dat de norm niet toelaat dat metingen met praktijkgeuren ook daadwerkelijk bijgesteld kunnen worden met een kalibratielijn gebaseerd op n-butanol.

De Standaard Referentie Methode (SRM) voor het meten van geurconcentratie van bemonsterde stallucht is het uitvoeren van de EN 13725 door een hiervoor geaccrediteerd laboratorium. In navolging van de recent herziene versie van de NTA 9065 voor geuronderzoek wordt als eis gesteld dat het laboratorium daarbij gebruik moet maken van de Forced-Choice methode voor de aanbieding van geurverdunningen 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 EN 13725;
- monsternameleidingen moeten verwarmd en geïsoleerd worden wanneer kans bestaat op condensvorming. Er mag geen condensvorming optreden in de monsternameleiding of de geurzak omdat hierin geurcomponenten kunnen oplossen. Condens kan met name optreden bij het plaatsen van monstervaten in onverwarmde ruimtes of in de buitenlucht. Ter verwarming wordt verwarmingslint langs de monsternameleiding meegevoerd en het geheel met buisisolatie geïsoleerd;
- een meting heeft een totale bemonsteringsduur van tenminste één uur en moet worden uitgevoerd in het tijdvak tussen 09:00 en 13:00 uur. Het is ook mogelijk tweemaal serieel te bemonsteren gedurende 30 minuten (bijvoorbeeld 10:00-10:30 en 10:30-11:00);
- een meting wordt in duplo uitgevoerd;
- als monsternamemethode moet de zogenaamde longmethode 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 moet met een constante stroomsnelheid 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 monstername wordt het uiteinde van het aanzuigpunt van de geurzak luchtdicht afgesloten;
- gedurende de gehele periode van monstername tot analyse moet de geurzak in het luchtdicht afgesloten monstervat worden opgeslagen om effecten op de uiteindelijke analyse van diffusie van geurcomponenten door de wand van de geurzak, zo gering mogelijk te maken;
- lekgeraakte geurzakken die nog ten dele zijn gevuld mogen niet geanalyseerd worden.

Kwaliteitsvereisten

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

- monsterkamer en analyse moet volgens EN 13725 plaats vinden. Hierbij is het gebruik van Forced-Choice olfactometrie verplicht;
- jaarlijks moet succesvol worden deelgenomen aan een ringtest olfactometrie (n-butanol of praktijkmonsters). Rotatie van panelleden is verplicht;
- de bemonsteringsduur is tenminste 60 of tweemaal 30 minuten;
- metingen moeten in duplo worden uitgevoerd;
- de detectielimiet van de analyse moet minimaal 50 OU_E/m^3 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 EN 13725 wordt deels veroorzaakt doordat de kwaliteitscriteria gebaseerd op n-butanol niet overdraagbaar blijken te zijn richting praktijkgeuren (Klarenbeek et al., 2014; Feilberg et al., 2018). Het gevolg is grote meetvariatie tussen verschillende geurpanels en geurlaboratoria. Klarenbeek et al. (2014) concludeerden op basis van een integrale analyse van meerdere ringtesten van Nederlandse labs dat de reproduceerbaarheid van praktijkgeuren aanzienlijk minder is dan die van n-butanol. Precisie verbeteren door selectie op n-butanol werkt dus niet in dezelfde mate door naar praktijkgeuren. De berekende reproduceerbaarheid van praktijkgeuren in genoemde analyse van meting aan hetzelfde geurmonster door twee laboratoria leverde als bovengrens (95%-betrouwbaarheidsinterval) een verschilfactor van 6 op. Dat wil zeggen dat 95% van gepaarde metingen aan een identiek geurmonster maximaal een factor 6 kunnen verschillen tussen laboratoria. In lijn hiermee concludeerden Feilberg et al. (2018) in een onderzoek naar de relatie tussen gevoeligheid van panelleden voor n-butanol en H_2S dat er tussen beide gassen geen sprake was van een significante correlatie in gevoeligheid van panelleden en dat daarmee ook geen sprake is van overdraagbaarheid van de gevoeligheid voor n-butanol naar H_2S. 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 aanbiedingsprocedure verschillen leidt dit tot meetvariatie tussen laboratoria. Tevens is met behulp van chemisch-analytische methodes aangetoond dat kwaliteit van monsterzakken en toegelaten opslagduur van monsters tot grote verschillen in gemeten geurconcentraties kunnen leiden (Hansen et al., 2011; Hansen et al., 2013; Kasper et al., 2017).

Dit alles leidt tot een forse meetonzekerheid van geuremissies. Een voorbeeld van de problemen die dit oplevert is gerapporteerd door Melse et al. (2018a). Deze rapportage gaat over een vergelijkend onderzoek met 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 EN 13725:2003 heeft uitgevoerd en die heeft geresulteerd in de huidige 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 geurpanel 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.

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 & 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. 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 EN 13725. In deze richtlijn wordt daarom vooralsnog uitgegaan van het gebruik van de gereviseerde norm 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 EN 13725 nog niet beschikbaar.

A7.4 Methaan (CH_4), lachgas (N_2O) en koolstofdioxide (CO_2)

Voor de continue doormeting van de stalemissies van CH_4 (en CO_2) 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 emissiemonitoring in het kader van doelvoorschriften krijgt de 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.

De Standaard Referentie Methode (SRM) ter bepaling van concentraties van zowel methaan, lachgas als koolstofdioxide is gaschromatografie of laser spectrometrie. Hoewel natuurlijk geproduceerd CO_2 geen emissiecomponent is, is de luchtconcentratie van CO_2 nodig voor het bepalen van het ventilatiedebiet volgens de tracergas ratiomethode met CO_2 als natuurlijke tracer.

Een voorwaarde voor gaschromatografie is de toepassing van een goede separatiekolom (bijvoorbeeld Haysep Q) en detector (CH_4: flame ionisation detector (FID), N_2O: electron capture detector (ECD), CO_2: 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 zodat interferentie met andere componenten niet mogelijk is. Het instrument moet aantoonbaar geschikt zijn in het concentratiegebied dat in de stal wordt aangetroffen.

Het is toegestaan om een vangsysteem 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 A7.3). In Mosquera et al. (2020) worden de prestatiekenmerken van deze methode (voor CO_2) en de procedure voor implementatie in de praktijk uitgebreid beschreven. Monstername 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 continu 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 monsternameleiding die de stal- of buitenlucht van de meetpunten naar het vangsysteem of de meetapparatuur leidt moet van PTFE (Teflon) of PE (Polyethyleen) worden gemaakt.

De SRM, met vangsysteem en latere analyse in het lab, kan toegepast worden in de praktijk. Daarnaast kunnen alternatieve methoden gebruikt worden voor de metingen. Alternatieve methoden moeten voldoen aan deel D van dit document: 'ontwikkeling en validatie van (sensor)meetsystemen voor continue meting van gasconcentraties', al blijft controle met de SRM/EM zoals hierboven beschreven noodzakelijk.

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 concentratiebereik (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 cilinder 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.

A7.5 Stof (grove stoffracties, PM_{10} en $PM_{2,5}$)

Stof in stallen: bronnen, eigenschappen en fracties
Het stof dat emitteert uit stallen bestaat uit zwevende vaste deeltjes en zwevende vloeibare druppeltjes. Ze zijn afkomstig van mest, huidschilfers, haar, veren, stro(oisel), ruwvoer, krachtvoer, insecten, enzovoort. In tegenstelling tot bijvoorbeeld deeltjes uit verbrandingsmotoren, industrie-schoorstenen en houtstook, zijn de deeltjes grotendeels van organische oorsprong en hebben een relatief grote diameter. Stof in stallen is een heterogene mix wat betreft grootte, vorm (morfologie), dichtheid (soortelijke massa), kleur en chemische samenstelling. De deeltjes kunnen bolvormig (sferisch) zijn, maar ook ovaal, kubusvormig, stervormig, vlokvormig, naaldvormig, vezelig, enzovoort. Om de grootte van onregelmatige (niet-bolvormige) deeltjes van uiteenlopende dichtheden aan te geven wordt de aerodynamische diameter gebruikt. De **aerodynamische diameter** van een onregelmatig deeltje is gelijk aan de diameter van een perfect bolvormig deeltje met een dichtheid van 1 g/cm^3 dat in stilstaande lucht *dezelfde terminale valsnelheid* heeft als het onregelmatige deeltje (ongeacht zijn vorm of dichtheid). Er bestaan verschillende termen om stof aan

te duiden. Een uitputtend overzicht van alle termen, definities en fracties is te vinden in Tabel 1 van het proefschrift van Winkel (2016). Stof kan ingedeeld worden in "**fijnstof**" (deeltjes met aerodynamische diameters kleiner dan 10 µm (micrometer)) en "**grof stof**" (deeltjes met aerodynamische diameters groter dan 10 µm). In dit rapport worden de volgende fracties van stof gebruikt:

Tabel A7.1 *De vijf termen, definities en fracties van stof in dit rapport.*

Term	Definitie	Fractie	Norm	Bron
Grof stof [1)]				
Inhaleerbaar stof	'*Mass fraction of total airborne particles which is inhaled through the nose and mouth*'	PM_{100}	ISO 7708 EN 481	ISO (1995) CEN (1993)
Total Suspended Particles (TSP)	Verouderde term van de US-EPA voor fijnstof in de buitenlucht: deeltjes tot 25-50 µm, afhankelijk van windsnelheid en windrichting	~PM_{35}	40 CFR 50, appendix B	US-EPA (2014)
Totaalstof	Term voor zwevende deeltjes die kunnen worden opgevangen met behulp van 37 mm filtercassettes (zonder voorafscheiding)	n.g. [2)]	NIOSH Method 0500	NIOSH (1994)
Fijnstof				
PM_{10}	'*Particulate matter which passes through a size-selective inlet with a 50% efficiency cut-off at 10 µm aerodynamic diameter*'	PM_{10}	EN 12341	CEN (2023)
$PM_{2.5}$	'*Particulate matter which passes through a size-selective inlet with a 50% efficiency cut-off at 2.5 µm aerodynamic diameter*'	$PM_{2,5}$	EN 12341	CEN (2023)

[1)] waar ook het fijnstof deel van uitmaakt.

[2)] n.d.: niet gedefinieerd.

De termen *inhaleerbaar stof*, *Total Suspended Particles (TSP)* en *totaalstof* worden in de praktijk soms abusievelijk als synoniemen gebruikt en/of onjuist/inconsistent toegepast. Een onjuiste toepassing is bijvoorbeeld wanneer een meetmethode een TSP-kop als inlaat heeft terwijl geschreven wordt dat er 'totaalstof' is verzameld. Van de drie termen voor grof stof heeft alleen inhaleerbaar stof een gedefinieerde afscheidingscurve met een 50%-afsnijdiameter bij 100 µm.

Meten van fijnstof
Concentraties van PM_{10} en $PM_{2.5}$ moeten worden gemeten met een meetmethode waarvan gelijkwaardigheid is aangetoond aan de gravimetrische standaard referentiemethode voor de buitenlucht zoals beschreven in EN 12341, 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 meetpositie).

Meten van grof stof
Bij meting van de concentratie van grof stof moet één van de drie fracties gekozen worden uit Tabel A7.1.

Massaconcentratie in plaats van deeltjesconcentratie
Emissies en emissiereducties worden gebaseerd op massaconcentraties (µg/m^3, mg/m^3); niet op deeltjesconcentraties (#/L).

Niet-isokinetische condities voorkomen of minimaliseren
Niet-isokinetische meetcondities moeten zo veel mogelijk worden voorkomen of geminimaliseerd.

Bij systemen met een rondgaande inlaatopening, doorgaans bedoeld voor buitenluchtbemonstering van TSP, PM_{10} en $PM_{2,5}$, kan dit bereikt worden 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 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 inlaatkoppen 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 fijnstof 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 EN 13284-1.

Inhaleerbaar stof wordt bemonsterd met de zogenaamde 'IOM sampler' (IOM: Institute of Occupational Medicine in Edinburgh, VK), verbonden met een luchtpomp dat lucht door de sampler zuigt bij een flow rate van 2 L/min. Ook hier moeten niet-isokinetische condities voorkomen worden. De snelheid van de luchtstroom waarin de sampler zich bevindt moet tussen 0,5 en 1 m/s, en idealiter rond 0,75 m/s, liggen. In luchtsnelheden beneden 0,5 m/s vindt er overbemonstering plaats. In luchtsnelheden boven 1 m/s vindt er onderbemonstering plaats. In luchtsnelheden rond 4 m/s en hoger vindt er sterke onderbemonstering plaats (Kenny et al., 1997).

Stof bemonsteren en meten in een vochtige luchtstroom
Het bepalen van stofconcentraties in vochtige lucht (> 80% relatieve luchtvochtigheid) kan aan de orde zijn bij de uittredende lucht van luchtwassers, biobedden, warmtewisselaars en mestdroogtunnels (deel B van dit rapport), 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 PM_{10}- of $PM_{2,5}$-voorafscheiders zoals impactoren of cyclonen. Ook kan het waterschilletje tot meetfouten leiden in het meetprincipe van de meetmethode zelf, waaronder lichtverstrooiing. In vochtige luchtstromen zijn alleen metingen mogelijk van grof stof (zonder voorafscheiding) alsook van fijnstof waarbij de monsternamelucht wordt voorgeconditioneerd naar een relatieve luchtvochtigheid rond of onder 80%.

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

Kwaliteitsvereisten
- Niet-isokinetische condities moeten worden voorkomen of verminderd en de luchtstroom moet zo laminair mogelijk zijn.
- Metingen moeten in duplo worden uitgevoerd.
- In stallucht mogen geen impactoren als voorafscheider worden gebruikt. Deze kunnen overbeladen raken waardoor 'particle bouncing' van af te scheiden deeltjes naar het filter kan optreden. Cycloonafscheiders hebben dit risico niet en zijn een goed alternatief. Impactoren mogen wel gebruikt worden in de buitenlucht (ingaande stallucht) en de uitgaande lucht van nageschakelde luchtzuiveringssystemen.
- Wanneer meting van de uitgaande lucht om praktische redenen buiten het stalgebouw plaatsvindt, moet inmenging van buitenlucht voorkomen worden.
- Er moet gebruik worden gemaakt van een monsternamepomp met een constante flow rate. Dergelijke pompen regelen de flow rate automatisch op basis van gemeten temperatuur en drukval over het filter waardoor een constante luchtstroom wordt verkregen (maximale afwijking luchtstroom ≤ 2%).
- Gebruikte filters 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 gebruikt worden met een resolutie van 10 µg of kleiner;
    - de gebruikte balans moet jaarlijks gekalibreerd worden onder ISO/IEC 17025;
    - 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 ± 1 °C (op basis van gemiddelde uurwaarden) en RV = 45-50% (op basis van gemiddelde uurwaarden). Hier

zijn de instellingen uit de eerdere EN 12341:2023 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 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 (bijvoorbeeld *E. faecalis*);
- *Enterobacteriaceae*: een grote familie van de Gramnegatieve bacteriën (bijvoorbeeld *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

De controle op volledigheid omvat het toetsen van de werkelijke hoeveelheid binnengekomen data aan de verwachte hoeveelheid binnen te krijgen data op basis van de meetfrequentie voor elk van de operationele variabelen en de verklaring van eventuele afwijkingen.

Voor metingen van emissiecomponenten (ammoniak, geur, stof, CO_2) moet worden gecontroleerd of de data van deze variabelen daadwerkelijk werd opgenomen volgens de gespecifieerde meetfrequentie en binnen de periode tussen de eerste (inclusief) en laatste meetdag (inclusief) van de meetcampagne.

Als er meetdata ontbreken (niet binnen gekomen data, nulwaarden, lege waarden, andere indicatoren van ontbrekende data) moet zowel de periode waarin de meetdata ontbreken als de reden waarom de meetdata ontbreken worden gerapporteerd, en dit voor elk van de individuele variabelen. Het tijdspercentage waar data werd verkregen, moet worden gerapporteerd.

A8.2 Controle op kwaliteit - exclusie van data

Alle meetresultaten worden opgenomen in de verdere berekeningen en rapportage, met uitzondering van:

- meetdata die door technische storingen onbruikbaar zijn;
- meetdata die door menselijke fouten onbruikbaar zijn;
- meetdata die door niet gekalibreerde en/of niet gevalideerde meetprocedures werden; verkregen;
- meetdata die werden verkregen door continue meetapparatuur waarbij een te grote mate van drift optrad;
- meetdata die als incorrect wordt geïdentificeerd, in die zin dat het waarden betreft die met zekerheid (argumentatie is verplicht) als incorrect moeten worden beschouwd en om die reden worden geëxcludeerd van de dataset;
- meetdata waarbij structureel niet voldaan is aan de landbouwkundige randvoorwaarden.

De verkregen data moet worden gecontroleerd op verdachte waarden. Deze controle kan worden uitgevoerd door bijvoorbeeld:

- het vergelijken van meetdata uit een duplo meting (bijvoorbeeld als er twee of drie naast elkaar geplaatste sensoren worden ingezet) of bemonstering;
- onmogelijke waarden (zoals extreem hoge of negatieve waarden) die met zekerheid als incorrect moeten worden beschouwd;
- waarden die sterk afwijken van voorgaande waarden terwijl dat (op basis van de bekende autocorrelatie voor die variabele) niet verwacht wordt;
- waarden te toetsen aan relaties tussen grootheden die een vooraf voorspelbare relatie moeten opleveren en waarin verdachte of evident onjuiste waarden buiten deze relatie opvallen;
- een uitbijtertoets. Voor continue metingen kan een uitbijtertoets bijvoorbeeld bestaan uit de boxplot-methode met driemaal de IKA-waarde (interkwartiel-afstand) als maat voor uitbijters. Uitbijters zijn niet per definitie te excluderen waarden. Het zijn slechts waarnemingen die als verdacht kunnen worden aangewezen en onderworpen moeten worden aan verdere controle.

Voor alle verdachte waarnemingen geldt dat zij moeten worden opgelijst en onderworpen aan een verdere 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 en analyse wanneer deze aantoonbaar het gevolg zijn van technische storingen of menselijke fouten in de metingen en/of verdere processtappen of wanneer deze met zekerheid als incorrect moeten worden beschouwd.

Meetgegevens van technisch geslaagde metingen tijdens een periode met aantoonbare afwijkingen (inclusief downtime) van de interventie, worden wel opgenomen in de berekeningen en de rapportage. De invloed van deze metingen op het eindresultaat wordt gekwantificeerd door het presenteren van eindresultaten met en zonder deze perioden, en vormt het onderwerp van de discussie in het meetrapport. Van dergelijke metingen worden nauwkeurig volgende zaken aangegeven: de tijdsperiode, aard, oorzaak en verwacht effect van het niet of minder goed werken van de interventie. Tijdens de meetcampagne mogen echter geen fundamentele wijzigingen aan de interventie worden aangebracht, zodat steeds een representatief beeld wordt verkregen van de prestatie van de interventie.

Voor de meetgegevens die dienen uitgesloten te worden op basis van de hierboven opgelijste criteria dient zowel de periode waarin de meetdata weggelaten werden als de reden waarom de meetdata weggelaten werden te worden beargumenteerd en gerapporteerd, en dit voor elk van de individuele variabelen. Het tijdspercentage waar betrouwbare metingen (de weerhouden data) konden worden bekomen dient te worden gerapporteerd en moet tenminste 80% van de effectieve onderzoeksperiode beslaan.

A8.3 Controle op afwijkingen door drift bij continue meetsystemen - toepassing van correcties

Continue meetsystemen worden met een passende frequentie gecontroleerd ten opzichte van de SRM-methode of een methode equivalent aan de SRM-methode (EM). De frequentie bedraagt minimaal zesmaal per jaar of meer indien dit nodig blijkt op basis van het validatiedossier (dient meegeleverd te worden in het dossier, hoofdstuk B9) van het gebruikte meetsysteem. De hierbij vastgestelde afwijking wordt opgevolgd en geëvalueerd.

De afwijking van het continue meetsysteem ten opzichte van de SRM of EM wordt berekend op basis van de daggemiddelde waarden (beide metingen omvatten dezelfde 24h-tijdsperiode) van zowel het continue meetsysteem als de SRM-/EM-metingen (gemiddelde van de duplo's), als volgt:

$$afwijking\ (\%) = \frac{(C_{SRM} - C_{continu})}{C_{SRM}}\, x\ 100\% \qquad \text{(A5)}$$

Met:

- C_{SRM} = gemiddelde ammoniakconcentratie gemeten met de SRM/EM (gemiddelde van de duplowaarden)
- $C_{continu}$ = gemiddelde ammoniakconcentratie gemeten met de continue methode gedurende de uitvoering van de SRM/EM-meting. De 24h-tijdsvensters moeten overeenkomen

De criteria ten aanzien van de afwijking zijn:

- als de procentuele afwijking tussen 0 en 10% ligt wordt er geen correctie uitgevoerd;
- als de procentuele afwijking tussen 10% en 20% ligt moet er een, in de tijd lineaire, correctie doorgevoerd te worden op de concentraties gemeten met de continue meetmethode tussen het tijdstip van de SRM-meting en de voorgaande SRM-meting;
- als een procentuele afwijking meer dan 20% bedraagt is dit een indicatie van een falend continu meetsysteem dat geen correctie toelaat. In dit geval moeten de meetwaarden tussen het tijdstip van de SRM-meting en de voorgaande SRM-meting verworpen worden. De SRM-meting kan in dit geval opgenomen worden in de dataset van de continue metingen; Een afwijking op het verwerpen van de volledige bovengenoemde meetperiode is toegestaan als de meetinstantie kan aantonen op welke datum of op welk tijdstip het continue meetsysteem in storing is gegaan. De data vóór het falen kunnen dan wel nog bruikbaar zijn.

Vanaf 10% afwijking dient actie ondernomen te worden om ervoor te zorgen dat opnieuw voldoende betrouwbaar kan worden gemeten.

Bijkomend wordt er ook een criterium opgenomen voor de maximale toegelaten cumulatieve drift (Dc). Cumulatieve drift is de som van de verschillende driften vastgesteld bij de SRM/EM controlemetingen. Voor de berekening van deze cumulatieve drift worden enkel die driftwaarden meegeteld waarvoor gecorrigeerd werd en die dus hoger waren dan 10%. Positieve en negatieve driftwaarden kunnen elkaar hierbij compenseren. Als de cumulatieve drift van het continue meetsysteem op een gegeven moment (bij een volgende vergelijkende controle ten opzichte van de SRM/EM) meer dan 30% bedraagt, moet het meetsysteem voor onderhoud nagekeken worden of vervangen worden door een ander systeem. De cumulatieve drift moet, voor elk gebruikt continu meetsysteem, berekend worden na elke SRM/EM controlemeting. Wanneer de cumulatieve drift meer dan 30% bedraagt, kan de data alleen gebruikt worden, als de drift tussen laatste opeenvolgende SRM metingen lager is dan 20%. Hierbij wordt onverminderd in acht genomen dat er tussen 10 en 20% een in de tijd lineaire correctie moet worden doorgevoerd op de concentraties gemeten met de continue methode tussen het tijdstip van de SRM/EM-meting en de voorgaande SRM/EM-meting.

Enkel in uitzonderlijke gevallen (bijvoorbeeld bij heel lage ingaande concentraties) en mits gemotiveerd kan de meetinstantie afwijken van bovenstaande richtlijnen. Dit moet in het meetrapport opgenomen worden.

A8.4 Data-aggregatie

De meet-/loggingsfrequentie voor continue metingen van concentraties bedraagt minimaal eens per uur.

Het is mogelijk om een zogenaamde meetpuntomschakelaar (MPO) in te zetten. Bij een MPO 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 MPO. De MPO is geplaatst vóór de meetmethode. De MPO "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 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 monsternamepunt altijd op hetzelfde tijdstip wordt bemeten waardoor monsternamepunt verstrengeld zou raken met momenten op de dag en de dan geldende emissie en omstandigheden. Door alle aangesloten monsterleidingen wordt continu lucht gepompt, ook gedurende de tijd dat ze niet via de MPO aan het meetinstrument worden aangeboden.

De data van een uur is valide als er tenminste één valide waarneming is verkregen. 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 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 onderzoekslocatie vermeld.

.

A8.5 Berekening emissie bij proefopzetten 1a, 1b, 2 en 3

De emissie van **ammoniak** van de case en control op een locatie op gegeven moment wordt berekend door het ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met de uitgaande stalluchtconcentratie die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} = Q_{ijk} * \left(C_{uit_{ijk}} - C_{in_{ijk}}\right) * \frac{1\,kg}{10^6\,mg} * \frac{24\,uren}{1\,dag} * \frac{365\,dagen}{1\,jaar} \quad \text{(A6)}$$

Met:

- E_{ijk} = ammoniakemissie van case of control i van locatie j op moment k in kg/jaar per dier
- Q_{ijk} = ventilatiedebiet van case of control i van locatie j op moment k in m^3/uur/dier
- C_uit_{ijk} = uitgaande stalluchtconcentratie van case of control i van locatie j op moment k in mg/m^3
- C_in_{ijk} = ingaande luchtconcentratie van case of control i van locatie j op moment k in mg/m^3

De emissie van **geur** van de case en control op een locatie op gegeven moment wordt berekend door het ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met de uitgaande stalluchtconcentratie zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} = Q_{ijk} * C_{uit_{ijk}} * \frac{1\,uur}{60\,minuten} \quad \text{(A7)}$$

Met:

- E_{ijk} = geuremissie van case of control i van locatie j op moment k in OU_E/s per dier
- Q_{ijk} = ventilatiedebiet van case of control i van locatie j op moment k in m^3/uur/dier
- C_uit_{ijk} = uitgaande stalluchtconcentratie van case of control i van locatie j op moment k in OU_E/m^3

De emissie van **methaan en lachgas** van de case en control op een locatie op gegeven moment wordt berekend door het ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met de uitgaande stalluchtconcentratie die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} = Q_{ijk} * \left(C_{uit_{ijk}} - C_{in_{ijk}}\right) * \frac{1\,g}{10^3\,mg} * \frac{24\,uren}{1\,dag} * \frac{365\,dagen}{1\,jaar} \quad \text{(A8)}$$

Met:

- E_{ijk} = methaan- of lachgasemissie van case of control i van locatie j op moment k in g/jaar per dier
- Q_{ijk} = ventilatiedebiet van case of control i van locatie j op moment k in m^3/uur/dier
- C_uit_{ijk} = uitgaande stalluchtconcentratie van case of control i van locatie j op moment k in mg/m^3
- C_in_{ijk} = ingaande luchtconcentratie van case of control i van locatie j op moment k in mg/m^3

De emissie van **inhaleerbaar stof (PM_{100}) en fijnstof (PM_{10}, $PM_{2,5}$)** van case en control op een locatie op gegeven moment wordt berekend door het ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met de uitgaande stalluchtconcentratie die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} = Q_{ijk} * \left(C_{uit_{ijk}} - C_{in_{ijk}}\right) * \frac{1\,g}{10^6\,\mu g} * \frac{24\,uren}{1\,dag} * \frac{365\,dagen}{1\,jaar} \quad \text{(A9)}$$

Met:

- E_{ijk} = fijnstofemissie van case of control i van locatie j op moment k in g/jaar per dier
- Q_{ijk} = ventilatiedebiet van case of control i van locatie j op moment k in m^3/uur/dier
- C_uit_{ijk} = uitgaande stalluchtconcentratie van case of control i van locatie j op moment k in µg/m^3
- C_in_{ijk} = ingaande luchtconcentratie van case of control i van locatie j op moment k in µg/m^3

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 ($\frac{24\ uren}{1\ dag}$)-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 variabele op uurniveau gemiddeld naar dagniveau, daarna wordt de emissie berekend op dagniveau.

De **overallgemiddelde emissiereductie** 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 berekend volgens:

$$ER_{case_locatie};\ \% = \frac{\bar{E}_{control} - \bar{E}_{case}}{\bar{E}_{control}} * 100 \qquad \text{(A10)}$$

Met:

- $ER_{case_locatie}$ = relatieve reductie per locatie in %
- $\bar{E}_{control}$ = gemiddelde emissie van de control
- $\bar{E}_{case}$ = gemiddelde emissie van de case

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:

$$E_{case} = \frac{ER}{100} * 3{,}0 \qquad \text{(A11)}$$

Met:

- E_{case} = absolute emissie van de case
- ER = gemiddelde emissiereductie in %

A8.6 Berekening emissie bij proefopzet 4

De emissie van **ammoniak** van de interventie op een locatie op gegeven moment wordt berekend door het ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met de uitgaande stalluchtconcentratie die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} = Q_{ijk} * \left(C_{uit_{ijk}} - C_{in_{ijk}}\right) * \frac{1\ kg}{10^6\ mg} * \frac{24\ uren}{1\ dag} * \frac{365\ dagen}{1\ jaar} \qquad \text{(A12a)}$$

$$E_{ijk}\ (\text{per dierplaats}) = Q_{ijk} * \left(C_{uit_{ijk}} - C_{in_{ijk}}\right) * \frac{1\ kg}{10^6\ mg} * \frac{24\ uren}{1\ dag} * \frac{365\ dagen}{1\ jaar} * \frac{n_{dieren_{ijk}}}{n_{dierplaatsen_{ij}}} \qquad \text{(A12b)}$$

Met:

- E_{ijk} = ammoniakemissie van interventie i op locatie j op moment k in kg/jaar per dier(-plaats)
- Q_{ijk} = ventilatiedebiet van interventie i op locatie j op moment k in m^3/uur/dier

- C_uit_{ijk} = uitgaande stalluchtconcentratie van interventie i op locatie j op moment k in mg/m^3
- C_in_{ijk} = ingaande luchtconcentratie van interventie i op locatie j op moment k in mg/m^3

De emissie van **geur** van de interventie op een locatie op gegeven moment wordt berekend door het ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met de uitgaande stalluchtconcentratie zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} = Q_{ijk} * C_{uit_{ijk}} * \frac{1\,uur}{60\,minuten} \quad \text{(A13a)}$$

$$E_{ijk}\ (\text{per dierplaats}) = Q_{ijk} * C_{uit_{ijk}} * \frac{1\,uur}{60\,minuten} * \frac{n_{dieren_{ijk}}}{n_{dierplaatsen_{ij}}} \quad \text{(A13b)}$$

Met:
- E_{ijk} = geuremissie van interventie i op locatie j op moment k in OU_E/s per dier(-plaats)
- Q_{ijk} = ventilatiedebiet van interventie i op locatie j op moment k in m^3/uur/dier
- C_uit_{ijk} = uitgaande stalluchtconcentratie van interventie i op locatie j op moment k in OU_E/m^3

De emissie van **methaan en lachgas** van de interventie op een locatie op gegeven moment wordt berekend door het ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met de uitgaande stalluchtconcentratie die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} = Q_{ijk} * \left(C_{uit_{ijk}} - C_{in_{ijk}}\right) * \frac{1\,g}{10^3\,mg} * \frac{24\,uren}{1\,dag} * \frac{365\,dagen}{1\,jaar} \quad \text{(A14a)}$$

$$E_{ijk}\ (\text{per dierplaats}) = Q_{ijk} * \left(C_{uit_{ijk}} - C_{in_{ijk}}\right) * \frac{1\,g}{10^3\,mg} * \frac{24\,uren}{1\,dag} * \frac{365\,dagen}{1\,jaar} * \frac{n_{dieren_{ijk}}}{n_{dierplaatsen_{ij}}} \quad \text{(A14b)}$$

Met:
- E_{ijk} = methaan- of lachgasemissie van interventie i op locatie j op moment k in g/jaar per dier(plaats)
- Q_{ijk} = ventilatiedebiet van interventie i op locatie j op moment k in m^3/uur/dier
- C_uit_{ijk} = uitgaande stalluchtconcentratie van interventie i op locatie j op moment k in mg/m^3
- C_in_{ijk} = ingaande luchtconcentratie van interventie i op locatie j op moment k in mg/m^3
- $n_{dieren_{ijk}}$ = aantal dieren bij interventie i op locatie j op moment k
- $n_{dierplaatsen_{ij}}$ = aantal dierplaatsen bij interventie i op locatie j op moment k

De emissie van **grofstof en fijnstof (PM_{10}, $PM_{2,5}$)** van de interventie op een locatie op gegeven moment wordt berekend door het ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met de uitgaande stalluchtconcentratie die (indien gemeten) verminderd wordt met de ingaande luchtconcentratie zoals hierna weergegeven:

$$E_{ijk} = Q_{ijk} * \left(C_{uit_{ijk}} - C_{in_{ijk}}\right) * \frac{1\,g}{10^6\,\mu g} * \frac{24\,uren}{1\,dag} * \frac{365\,dagen}{1\,jaar} \quad \text{(A15a)}$$

$$E_{ijk}\ (\text{per dierplaats}) = Q_{ijk} * \left(C_{uit_{ijk}} - C_{in_{ijk}}\right) * \frac{1\,g}{10^6\,\mu g} * \frac{24\,uren}{1\,dag} * \frac{365\,dagen}{1\,jaar} * \frac{n_{dieren_{ijk}}}{n_{dierplaatsen_{ij}}} \quad \text{(A15b)}$$

Met:
- E_{ijk} = stofemissie van interventie i op locatie j op moment k in g/jaar per dier(-plaats)
- Q_{ijk} = ventilatiedebiet van interventie i op locatie j op moment k in m^3/uur/dier
- C_uit_{ijk} = uitgaande stalluchtconcentratie van interventie i op locatie j op moment k in µg/m^3
- C_in_{ijk} = ingaande luchtconcentratie van interventie i op locatie j op moment k in µg/m^3 (alleen van toepassing op fijnstof, niet op grofstof omdat daarvan geen ingaande luchtconcentratie wordt gemeten)

Het **moment *k*** is in bovenstaande formules een tijdseenheid van een uur. Wanneer moment *k* echter een tijdseenheid van een dag betreft, dan moet $\frac{24\,uren}{1\,dag}$ 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 ($*\frac{n_{dieren_{ijk}}}{n_{dierplaatsen_{ij}}}$) in formules A12b, A13b, A14b en A15b 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 overallgemiddelde is bepaald geïllustreerd door 70-, 80-, 90-, 95- en 99%-betrouwbaarheidsintervallen te bereken en te rapporteren (zie voor de uitwerking van de berekening van een betrouwbaarheidsinterval paragraaf A8.9).

A8.7 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.

A8.8 Standaardisatie ammoniakemissie melkkoeien

De gemeten emissie van ammoniak bij melkkoeien, bij een actuele buitentemperatuur, actueel tankmelkureumgehalte en actueel beloopbaar vloeroppervlak per koe, moeten gestandaardiseerd worden naar de langjarig gemiddelde buitentemperatuur, het populatiegemiddelde tankmelkureumgehalte en het populatiegemiddelde beloopbaar vloeroppervlak per koe.

Naast de gestandaardiseerde emissie moeten ook de emissieresultaten zonder de standaardisatie mee opgenomen worden in de rapportage. Voor de standaardisatie moeten de gemiddelde niveaus en effecten uit Tabel A8.1 worden toegepast.

Tabel A8.1 *De drie factoren voor standaardisatie bij melkvee, met hun gemiddelde waarde in de populatie (de Nederlandse melkveehouderij), de relatie tussen de factor en de ammoniakemissie en de range van waarden van de factor waarbinnen de relatie is vastgesteld.*

Factor	Gemiddelde waarde populatie	Relatie tussen factor en ammoniakemissie	Range in dataset waar binnen de relatie is vastgesteld
Buitentemperatuur	11,3 °C	1,5% emissietoename per graad Celsius temperatuurstijging	-3,4 tot 25,3 °C (24-uursgemiddelden) [1)]
Tankmelkureumgehalte	19,8 mg/100 ml	2,5% emissietoename per punt stijging tankmelkureumgetal	12 tot 38 mg/100 ml (tankmelkleveranties) [2)]
Beloopbaar vloeroppervlak	4,5 m^2/koe	10% emissietoename per eenheid voor roostervloeren; 2,8% emissietoename per eenheid voor dichte vloeren (inclusief vloersystemen waar de kelder door middel van bijvoorbeeld flappen afgesloten is)	Gemodelleerd met het SnelStal model van 2,5 tot 7,0 m^2/dier [3)]

[1)] Bron: range van temperaturen geraadpleegd uit de dataset van Ogink et al. (2014a; 2014b).

[2)] Bron: Ogink et al. (2014b), Figuur 2 op pagina 5 van de conference paper.

[3)] Bron: Ogink et al. (2014a), Figuur 1 op pagina 11 van het rapport.

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 (LnEg) berekend;
- vervolgens wordt de standaardisatie naar gemiddelde niveaus voor buitentemperatuur (*Tbuiten*) en tankmelkureumgehalte (*MUG*) uitgevoerd:

$$LnEg - \frac{1,5}{100} * (Tbuiten - 11,3) - \frac{2,5}{100} * (MUG - 19,8) \quad \text{(A16)}$$

- daarna worden de emissies op normaal-schaal teruggerekend:

$$e^{(LnEg - \frac{1,5}{100} * (Tbuiten - 11,3) - \frac{2,5}{100} * (MUG - 19,8))} \quad \text{(A17)}$$

- tenslotte wordt de standaardisatie naar een beloopbaar oppervlak (OPPV) van 4,5 m^2/dier uitgevoerd:

$$E_{st} = \left[e^{(LnEg - \frac{1,5}{100} * (Tbuiten - 11,3) - \frac{2,5}{100} * (MUG - 19,8))} \right] * \left[1 + \frac{2,8}{100} * (4,5 - OPPV) \right] \quad \text{(A18)}$$

Toelichtend kader: redenen en methode van standaardiseren van ammoniakemissie bij melkkoeien

Waarom het meetresultaat standaardiseren?
Zoals beschreven in het toelichtend kader in paragraaf A4.4, worden emissiefactoren van huisvestingssystemen gebaseerd op relatief (zeer) kleine steekproeven van minimaal vier onderzoekslocaties, getrokken uit een populatie van tientallen tot potentieel duizenden veehouderijbedrijven. Het meetresultaat uit de steekproef van onderzoekslocaties wordt geldend verklaard voor de populatie van bedrijven met een huisvestingssysteem wanneer het meetresultaat als emissiefactor wordt opgenomen in regelgeving.

Om de representativiteit van het kleine aantal onderzoekslocaties in de steekproef te borgen mogen bedrijfslocaties alleen geïncludeerd worden in de steekproef (dat wil zeggen: dienstdoen als onderzoekslocatie) als zij voldoen aan de criteria uit de landbouwkundige randvoorwaarden uit Bijlage

A1. Het doel daarvan is om te voorkomen dat inclusie van een bedrijf met een sterk van de meerderheid afwijkende bedrijfsuitrusting en/of bedrijfsmanagement een relatief grote invloed heeft op het meetresultaat, ten koste van de representativiteit daarvan.

Bedrijven met melkkoeien zijn (ten opzichte van intensieve veehouderijbedrijven) relatief heterogeen wat betreft bedrijfsuitvoering (bijvoorbeeld het beloopbaar oppervlak per koe) en bedrijfsmanagement (bijvoorbeeld het rantsoen) en zijn door de natuurlijke ventilatie van stallen gevoeliger voor externe omstandigheden zoals het weer. Deze tussen bedrijven verschillende, of in de tijd variërende, factoren hebben invloed op de ammoniakemissie. Door deze factoren tezamen met de ammoniakemissie te meten of vast te leggen, kan de ammoniakemissie worden gestandaardiseerd naar het niveau van de factoren in de populatie. Daarmee wordt het meetresultaat meer in lijn gebracht met de emissie die verwacht mag worden in de populatie. Bij melkkoeien is de standaardisatie dus een extra methode, boven op het minimum aantal bedrijven in de steekproef en de daarvoor geldende landbouwkundige randvoorwaarden, om de representativiteit van het meetresultaat voor de populatie te borgen.

Voor de standaardisatie zijn twee dingen nodig: 1) een bekende relatie tussen de factor en ammoniakemissie; en 2) de gemiddelde waarde voor die factor in de populatie waar het meetresultaat naar toe gestandaardiseerd wordt. Deze twee punten worden hierna toegelicht.

Relaties tussen factoren en de ammoniakemissie
Ogink et al. (2014a; 2014b) bestudeerden of de ammoniakemissie bij bedrijven met melkkoeien afhankelijk is van (omgevings)factoren die van bedrijf tot bedrijf en van jaar tot jaar kunnen verschillen. De studie liet zien dat de ammoniakemissie sterk beïnvloed wordt door twee factoren: de buitentemperatuur (°C) en het tankmelkureumgehalte (mg/100 ml).

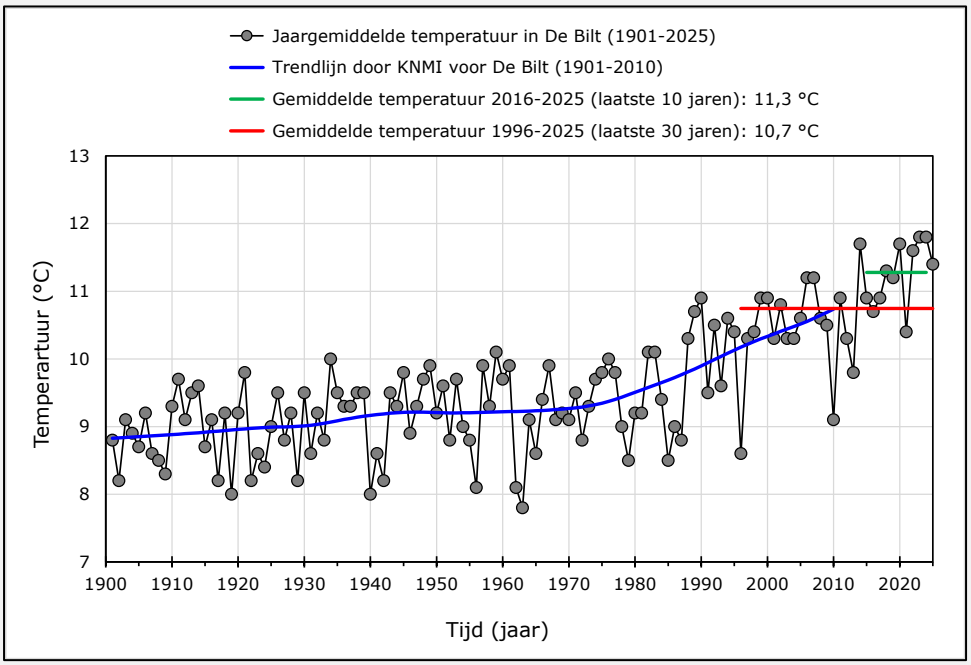
Deze resultaten worden hier gebruikt om gemeten emissies te standaardiseren naar gemiddelde (representatieve) niveaus voor deze factoren. Ogink et al. (2014a) stellen voor om voor buitentemperatuur het 10-jaarsgemiddelde te gebruiken (destijds: 10,5 °C; gemiddelde buitentemperatuur gemeten op KNMI-station De Bilt in de periode 2011-2020) en voor het tankmelkureumgehalte het landelijk gemiddelde in de periode 2009-2011 (23 mg/100 ml; op dat moment de laatst gerapporteerde data over melkureum door productschap Zuivel). In Ogink et al. (2014a) werden voor buitentemperatuur en tankmelkureumgehalte de volgende effecten (op Ln-schaal) gegeven:
- buitentemperatuur: 1,5% emissietoename per graad Celsius temperatuurstijging;
- tankmelkureumgehalte: 2,5% emissietoename per punt stijging van het melkureumgetal.

Ogink et al. (2014a) vonden geen statistisch significante relatie tussen de ammoniakemissie en het beloopbaar vloeroppervlak omdat het effect hiervan is verstrengeld met algemene bedrijfseffecten. Echter, Ogink et al. (2014a) geven aan, op basis van berekeningen met het Ammoniakemissiemodel, een effect (op normaal-schaal) te verwachten van 10% emissietoename per eenheid mestbesmeurd oppervlak (m^2 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 (m^2 per dier).

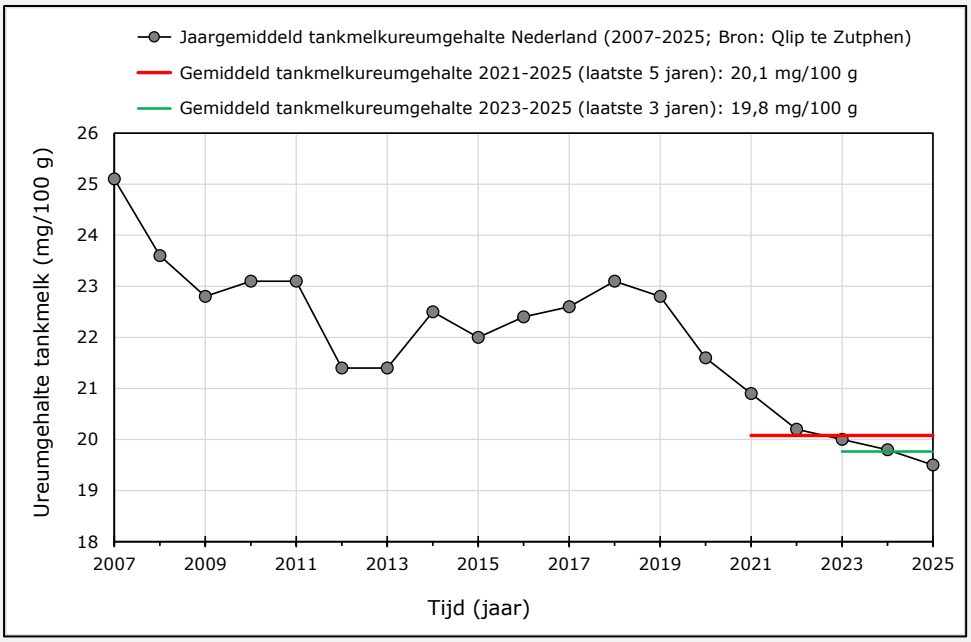
De gemiddelde waarde voor de factoren in de populatie
Zoals hierboven beschreven stelden Ogink et al. (2014a) voor om de 10-jaarsgemiddelde buitentemperatuur en het drie-jaarsgemiddelde ureumgetal te nemen als gemiddelde waarde. De boven genoemde waarden van respectievelijk 10,5 °C en 23 mg/100 ml zijn toegepast in het ammoniakmeetprotocol van Ogink et al. (2017) alsook in versies 1 en 2 van dit rapport. In versie 3 van dit rapport zijn de gemiddelde waarden geëvalueerd en opnieuw vastgesteld.

Evaluatie en nieuwe waarde voor buitentemperatuur (in versie 3)
In onderstaande figuur wordt de jaargemiddelde buitentemperatuur in De Bilt weergegeven van 1901 tot en met 2025. Uit de figuur wordt duidelijk dat de buitentemperatuur sinds de jaren tachtig van de vorige

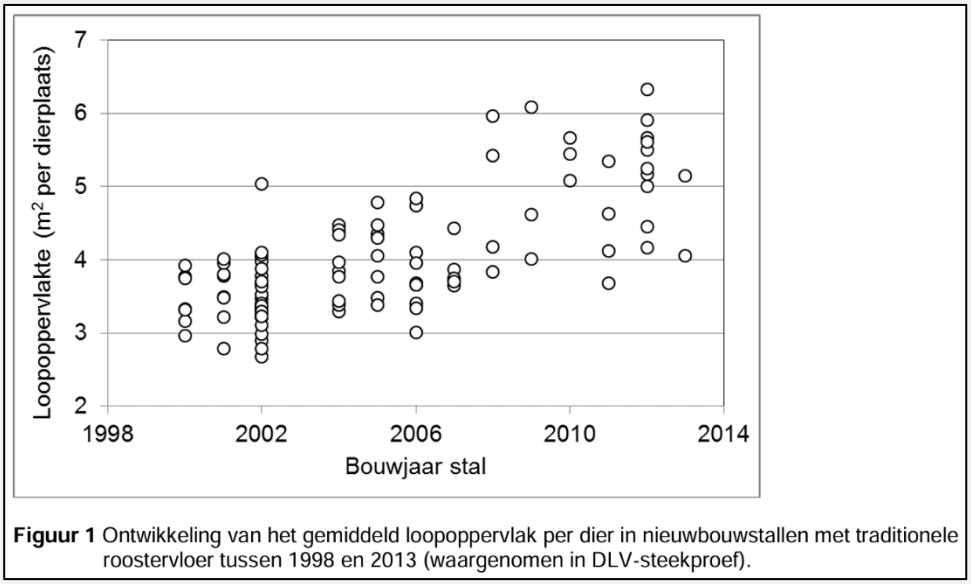
eeuw stijgt (klimaatverandering). In een stabiel klimaat is het **langjarig gemiddelde** over dertig jaar een goede normaalwaarde om actuele perioden mee te vergelijken. De huidige langjarig gemiddelde temperatuur wordt genomen van 1991 tot en met 2020 over de KNMI-meetstations Eelde, De Bilt, Vlissingen, Maastricht en De Kooy. Bij een stijgende gemiddelde temperatuur echter, is het langjarig gemiddelde over dertig jaar een te lage normaalwaarde omdat oudere, koelere, jaren het gemiddelde naar beneden trekken. In een artikel over dit thema (Peter Siegmund, 25 augustus 2020: 'De gemiddelde temperatuur in tijden van klimaatverandering' op www.knmi.nl) geeft het KNMI aan dat in de huidige toename van de gemiddelde temperatuur een 12-jaarsgemiddelde waarde een optimale referentie is, waarbij de verschillen tussen vijf en 13 jaren klein zijn. Dit zijn voldoende jaren om een robuuste (stabiele) referentiewaarde te verkrijgen terwijl de onderschatting door oudere, koelere jaren beperkt is. De gemiddelde waarde van 10,5 °C uit Ogink et al. (2017) is in versie 3 van dit rapport geactualiseerd naar het 10-jaarsgemiddelde (2016-2025; De Bilt) van **11,3** °C. Voor komende versies van dit rapport is het aan te bevelen deze gemiddelde waarde jaarlijks tot iedere vijf jaar te actualiseren.



Evaluatie en nieuwe waarde voor tankmelkureum (in versie 3)
Voor het tankmelkureumgehalte schreef Ogink et al. (2014a) de landelijke gemiddelde waarde in de periode 2009-2011 voor van 23 mg/100 g. Van Qlip te Zutphen, de organisatie die tankmelkmonsters van leveranties van melkveebedrijven aan melkfabrieken analyseert, werden de data van het tankmelkureumgehalte verkregen voor de periode 2007 tot en met 2025. De data zijn weergegeven in onderstaande figuur. Uit de figuur blijkt dat het tankmelkureumgehalte sinds 2018 aan het dalen is. Op basis van deze data is in versie 3 van dit rapport de gemiddelde waarde geactualiseerd naar **19,8** mg/100 g. Voor komende versies van dit rapport is het aan te bevelen deze gemiddelde waarde jaarlijks tot iedere drie jaar te actualiseren.



Evaluatie van het beloopbaar vloeroppervlak (geen wijziging in versie 3)
In Ogink et al. (2014a) is aan de hand van een steekproef in kaart gebracht hoe het beloopbaar vloeroppervlak per dierplaats geëvolueerd is in stalgebouwen met bouwjaren tussen 2000 en 2013. De resultaten daarvan zijn weergegeven in Figuur 1 in Ogink et al. (2014a). Die figuur is hieronder nogmaals opgenomen:



Figuur 1 Ontwikkeling van het gemiddeld loopoppervlak per dier in nieuwbouwstallen met traditionele roostervloer tussen 1998 en 2013 (waargenomen in DLV-steekproef).

Uit Figuur 1 in Ogink et al. (2014a) blijkt dat tussen 2000 en 2013 het beloopbaar vloeroppervlak per dierplaats in Nederland is toegenomen van waarden tussen 3 en 4 m^2/dierplaats naar waarden tussen 4 en 6 m^2/dierplaats. Over deze jaren is de trend dat er bij nieuwbouw meer beloopbaar vloeroppervlak per ligplaats wordt ingerekend in het stalontwerp. In tegenstelling tot bijvoorbeeld varkens en pluimvee, is er in het Besluit houders van dieren bij de Wet dieren geen norm opgenomen voor het leefoppervlak per dier of aantal dieren per vierkante meter leefoppervlak. Voor biologische melkveebedrijven is de norm voor volwassen melkkoeien in Nederland minimaal 6 m^2/dier [1]. De in voorbereiding zijnde Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) Dierwaardige veehouderij beschrijft basisregels voor een dierwaardige veehouderij voor 2040. In deze AMvB wordt een norm voor 2040 genoemd van 9 m^2/koe [2].

[1] Bron: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij/rundvee-en-paarden/huisvestingseisen-en-weidegang.
[2] De AMvB Dierwaardige veehouderij is op 24 juni 2025 voor een internetconsultatie gepubliceerd door de Rijksoverheid op: https://www.internetconsultatie.nl/amvbdierwaardigeveehouderij/b1.

Gezien de historische toename in loopoppervlak per koe, en de beleidsvoornemens om het loopoppervlak per koe verder te vergroten, mag verwacht worden dat het loopoppervlak per koe in de komende circa 15 jaar in Nederland nog verder gaat toenemen.

De gemiddelde waarde voor het beloopbaar vloeroppervlak van 4,5 m^2/koe uit Ogink et al. (2017) is geëvalueerd door deze waarde te vergelijken met de gemiddelde waarde van in totaal (15 + 4 =) 19 moderne stallen voor melkkoeien in de recente rapporten van Schep et al. (2024) en Declerck et al. (2025). Van deze stallen worden geen bouwjaren gegeven, maar gezien de bovengemiddelde omvang van de stallen gaat het in deze twee studies waarschijnlijk om relatief jonge stalgebouwen. De gemiddelde waarde van de stallen in de twee studies bedraagt 4,6 m^2/koe (range: 3,1 tot 7,1 m^2/koe). Op basis hiervan is de gemiddelde waarde in dit rapport intact gelaten.

A8.9 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 tot 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 een 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:

$$\bar{E}_{ij} \pm t_{(\alpha;\upsilon=n-1)} * SE \qquad \text{(A19)}$$

Met:

- $\bar{E}_{ij}$ = de overallgemiddelde 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 υ vrijheidsgraden ($\upsilon = n - 1$)
- n = het aantal bemeten bedrijfslocaties (het aantal locatiegemiddelden)
- SE = de standard error (standaardfout) van het overallgemiddelde. 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 $\pm(t_{(\alpha;\upsilon=n-1)} * SE)$ wordt uitgedrukt als percentage van de overall gemiddelde emissie $\bar{E}_{ij}$.

Eenvoudig kan nu worden getoetst of de overallgemiddelde emissie statistisch significant verschilt tussen interventies dan wel tussen interventie en referentiesysteem door te kijken of hun absoluut uitgedrukte 95%-betrouwbaarheidsintervallen overlappen. Wanneer deze overlappen verschilt de overallgemiddelde emissie van de interventies niet statistisch significant. Wanneer deze niet overlappen verschilt de overallgemiddelde emissie van de interventies statistisch significant.

A8.10 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).

De onzekerheid van een emissiecijfer bestaat uit onzekerheid ten aanzien van de bemonstering, onzekerheid ten aanzien van de ventilatiedebietmeting en onzekerheid ten aanzien van de meting van de emissiecomponent. 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;
- eventueel: auteurs;
- maand en jaar van publicatie;
- de uitgever van de rapportage;
- eventueel: namen en handtekeningen van de eindverantwoordelijken voor het onderzoek.

Het is niet verplicht namen van auteurs en namen van verantwoordelijken voor vrijgave van het onderzoek te vermelden. Binnen de meetinstantie moet een handtekeningsbevoegdheid bestaan en binnen de meetinstantie moet traceerbaar zijn wie welke rol in het onderzoek heeft gehad en wie tot de vrijgave heeft besloten.

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, discussie 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);

Beschrijving interventie (huisvestingssysteem, staltechniek of managementmaatregel)
In deze sectie worden de onderzoekslocaties gedetailleerd en volledig beschreven; zie paragraaf A3.2.

Beschrijving onderzoekslocaties
In deze sectie worden de onderzoekslocaties gedetailleerd en volledig beschreven; zie paragraaf A3.1.

Materiaal en methoden
Hierin worden gedetailleerd beschreven:
- de proefopzet, het aantal onderzoekslocaties en de conformiteit aan de richtlijnen hieromtrent uit hoofdstuk A4;
- de meetstrategie, inclusief de meetposities op de onderzoekslocaties, 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 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 meetonzekerheid van de gebruikte meetmethoden (zie paragraaf A8.8);

- 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
Dit hoofdstuk omvat een beschrijving (in tekst) en visualisatie (in de vorm van grafieken en tabellen) van de resultaten verkregen met de beschreven methodieken. In dit hoofdstuk 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 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.

Discussie
Dit hoofdstuk omvat een reflectie op de validiteit van het onderzoek en een interpretatie (duiding en verklaring) van de resultaten. In het bijzonder gaat het om:

- bespreking van afwijkende omstandigheden die de meetresultaten kunnen hebben beïnvloed;
- het vergelijken van de resultaten met de verwachting voorafgaand aan de meetcampagne en/of resultaten uit de literatuur van soortgelijke interventies, alsook het geven van mogelijke verklaringen voor verschillen daartussen;
- een onderbouwing, met argumenten, of de resultaten betrouwbaar en plausibel mogen worden verondersteld en representatief voor het onderzochte luchtzuiveringssysteem;
- een toelichting op de bruikbaarheid van de resultaten voor een algemene erkenning.

Conclusies
Ter afsluiting moeten de hoofdelementen van de resultaten en de discussie in concluderende zin 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:* April 2026
Huisvesting	• In de stal waar de metingen plaatsvinden mogen naast de melkgevende melkkoeien ook droogstaande melkkoeien en jongvee worden gehuisvest onder de hierna genoemde voorwaarden: - het aantal droogstaande melkkoeien mag maximaal 20% van het totale aantal melkkoeien (droogstaand plus melkgevend) zijn; - 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 maximaal 20% van het totale aantal melkkoeien (melkgevend en droogstaand) zijn; • het aantal in de stal aanwezige dieren (melkkoeien plus jongvee) mag maximaal 10% afwijken (zowel naar beneden als boven) van het aantal in de stal aanwezige ligboxen. De melkgevende dieren moeten in de meetstal worden 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 moet er een ligplaats te zijn; • Op onderzoekslocaties met een gangbare productiewijze en ligboxenhuisvesting bedraagt het beloopbaar vloeroppervlak minimaal 3,5 m^2/dierplaats en maximaal 7 m^2/dierplaats; • Wanneer een interventie (huisvestingssysteem, staltechniek of managementmaatregel) wordt onderzocht bij een specifiek keurmerk/marktconcept (bijvoorbeeld het Beter Leven keurmerk) of gecertificeerde productiewijze (bijvoorbeeld biologisch), moeten die eisen met betrekking tot huisvesting, voeding, gezondheid, enzovoort, worden gevolgd. Op een bedrijf met de biologische productiewijze moeten de eisen van SKAL worden gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).		
Klimaat	De koeien moeten zodanig worden gehouden 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.		
Productie	Voor een gangbaar bedrijf moet de gemiddelde melkgift minimaal 25 kg meetmelk/koe/dag zijn. Voor een biologisch bedrijf moet de gemiddelde melkgift minimaal 18 kg meetmelk/koe/dag zijn. Voor beide geldt dat het tankmelkureumgetal minimaal 15 mg/100 mL moet zijn.		
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er moet worden 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.		
Aantal dieren	Het aantal melkgevende en droogstaande koeien moet minimaal 30 zijn, of 15 melkgevende in geval van een case-control onderzoeksopzet.		
Registratie	• *Tijdens de metingen en minimaal 4 weken voorafgaand aan de metingen:* - 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 (tankmelkureumgehalte); - aantal melkgevende koeien, droogstaande koeien, drachtig jongvee en niet-drachtig jongvee op dagniveau. • *Tijdens de metingen:* - mestpeil (cm; afstand kelderbodem - mestoppervlak) en aanwezige mestvolume (m^3) 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; - CO_2-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:* April 2026
Huisvesting	• Er moet worden 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). • Wanneer een interventie (huisvestingssysteem, staltechniek of managementmaatregel) wordt onderzocht bij een specifiek keurmerk/marktconcept (bijvoorbeeld het Beter Leven keurmerk) of gecertificeerde productiewijze (bijvoorbeeld biologisch), moeten die eisen met betrekking tot huisvesting, voeding, gezondheid, enzovoort, worden gevolgd. Op een bedrijf met de biologische productiewijze moeten de eisen van SKAL worden gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij). • Op de onderzoekslocatie moet huisvesting volgens het 'all-in all-out' systeem plaats vinden.		
Klimaat	De vleeskalveren moeten 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 mechanische ventilatie moet 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, moet 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).		
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 mag maximaal 3% (blankvlees) of 2% (rosé) zijn.		
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er moet worden 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) worden vastgelegd.		
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de afdeling waarin wordt gemeten moet minimaal 40 zijn. Tijdens de metingen is maximaal 5% onderbezetting toegestaan.		
Registratie	• *Tijdens de metingen:* - datum en aantal aanwezige dieren; - CO_2-concentratie, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid in de stal - mestpeil (cm; afstand kelderbodem - mestoppervlak) en aanwezig mestvolume (m^3) 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:* April 2026
Huisvesting	• Er moet worden 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). • Wanneer een interventie (huisvestingssysteem, staltechniek of managementmaatregel) wordt onderzocht bij een specifiek keurmerk/marktconcept (bijvoorbeeld het Beter Leven keurmerk) of gecertificeerde productiewijze (bijvoorbeeld biologisch), moeten die eisen met betrekking tot huisvesting, voeding, gezondheid, enzovoort, worden gevolgd. Op een bedrijf met de biologische productiewijze moeten de eisen van SKAL worden gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).		
Klimaat	De dieren moeten worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO_2-concentratie in de stallucht onder de 3.000 ppm blijft.		
Voeding	• De frequentie en manier van voeren en drenken, en de aard van de voeding en het drinken, moet 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.		
Productie	Het gemiddelde aantal grootgebrachte biggen moet 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 moet worden 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). Het percentage uitval (sterfte) mag niet hoger zijn dan 8% per jaar.		
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de afdeling waarin wordt gemeten moet minimaal 20 zijn. Tijdens de metingen is maximaal 10% onderbezetting toegestaan.		
Registratie	• *Tijdens de metingen en minimaal 4 weken voorafgaand aan de metingen:* - voersamenstelling, voergift, ruwvoergift en waterverbruik; - datum en aantal van aanwezige + ingaande en uitgaande zeugen. • *Tijdens de metingen:* - mestpeil (cm; afstand kelderbodem - mestoppervlak) en aanwezig mestvolume (m^3) 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 eindtijd) van verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder; - CO_2-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:* April 2026
Huisvesting	• Er moet worden 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). • Wanneer een interventie (huisvestingssysteem, staltechniek of managementmaatregel) wordt onderzocht bij een specifiek keurmerk/marktconcept (bijvoorbeeld het Beter Leven keurmerk) of gecertificeerde productiewijze (bijvoorbeeld biologisch), moeten die eisen met betrekking tot huisvesting, voeding, gezondheid, enzovoort, worden gevolgd. Op een bedrijf met de biologische productiewijze moeten de eisen van SKAL worden gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).		
Klimaat	De dieren moeten worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO_2-concentratie in de stallucht onder de 3.000 ppm blijft.		
Voeding	• De frequentie en manier van voeren en drenken, en de aard van de voeding en het drinken, moet 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 moet voldoen aan de gangbare (CVB) normen en moet minimaal 140 g RE/EW bevatten 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.		
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 moet worden 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). Het percentage uitval (sterfte) mag niet hoger zijn dan 8% per jaar.		
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de afdeling waarin wordt gemeten moet minimaal 6 (zeugen) zijn.		
Registratie	• *Van de kraamperiode voorafgaand aan de metingen en tijdens de metingen:* - datum en aantal van aanwezige + ingaande en uitgaande dieren; - voersamenstelling, voergift, ruwvoergift en waterverbruik. • *Tijdens de metingen:* - mestpeil (cm; afstand kelderbodem - mestoppervlak) en aanwezig mestvolume (m^3) 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 eindtijd) van verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder; - CO_2-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:* April 2026
Huisvesting	• Er moet worden 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). • Wanneer een interventie (huisvestingssysteem, staltechniek of managementmaatregel) wordt onderzocht bij een specifiek keurmerk/marktconcept (bijvoorbeeld het Beter Leven keurmerk) of gecertificeerde productiewijze (bijvoorbeeld biologisch), moeten die eisen met betrekking tot huisvesting, voeding, gezondheid, enzovoort, worden gevolgd. Op een bedrijf met de biologische productiewijze moeten de eisen van SKAL worden gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).		
Klimaat	De dieren moeten 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 drenken, en de aard van de voeding en het drinken, moet 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 moet voldoen aan gangbare (CVB) normen en moet minimaal 165 g RE/EW bevatten. • 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.		
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 moet worden 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). Het percentage uitval mag niet hoger zijn dan 5% per ronde op afdelingsniveau.		
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de afdeling waarin wordt gemeten moet minimaal 40 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	*Tijdens de metingen:* - datum en aantal van 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 aanwezig mestvolume (m^3) 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 eindtijd) van verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - CO_2-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:* April 2026
Huisvesting	• Er moet worden 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). • Wanneer een interventie (huisvestingssysteem, staltechniek of managementmaatregel) wordt onderzocht bij een specifiek keurmerk/marktconcept (bijvoorbeeld het Beter Leven keurmerk) of gecertificeerde productiewijze (bijvoorbeeld biologisch), moeten die eisen met betrekking tot huisvesting, voeding, gezondheid, enzovoort, worden gevolgd. Op een bedrijf met de biologische productiewijze moeten de eisen van SKAL worden gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).		
Klimaat	De vleesvarkens moeten 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 drenken, en de aard van de voeding en het drinken, moet 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 moet voldoen aan gangbare (CVB) normen en moet op gangbare bedrijven minimaal 160 g RE/EW bevatten 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.		
Productie	De groei van de vleesvarkens in het traject van circa 23 - 125 kg moet minimaal 770 g/dier/dag bedragen 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 moet worden 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).		
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de afdeling waarin wordt gemeten moet minimaal 50 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	*Tijdens de metingen:* - datum en aantal van 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.

<table>
<tr><th colspan="4">Landbouwkundige randvoorwaarden</th></tr>
<tr><td></td><td>Categorie:
Pluimveehouderij</td><td>Subcategorie:
Legkippen</td><td>Datum:
April 2026</td></tr>
<tr><td>Huisvesting</td><td colspan="3">• Er moet worden 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).
• Wanneer een interventie (huisvestingssysteem, staltechniek of managementmaatregel) wordt onderzocht bij een specifiek keurmerk/marktconcept (bijvoorbeeld het Beter Leven keurmerk) of gecertificeerde productiewijze (bijvoorbeeld biologisch), moeten die eisen met betrekking tot huisvesting, voeding, gezondheid, enzovoort, worden gevolgd. Op een bedrijf met de biologische productiewijze moeten de eisen van SKAL worden 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.</td></tr>
<tr><td>Strooisel</td><td colspan="3">Vloeren moeten voorafgaand aan de binnenkomst van de dieren ingestrooid worden met houtkrullen, (gehakseld) stro of zand bij een laagdikte van minimaal 0,5 cm. Turf en snijmaïssilage mogen niet worden toegepast vanwege een (mogelijke) ammoniakreducerende werking. Gedurende de metingen bedraagt de (mest)strooisellaagdikte tenminste 3 cm.</td></tr>
<tr><td>Klimaat</td><td colspan="3">De dieren moeten worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO_2-concentratie in de lucht van de stal onder de 3.000 ppm blijft.</td></tr>
<tr><td>Voeding</td><td colspan="3">• Er moet worden 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).
• De dieren moeten een voer krijgen met minimaal de waarden vermeld in onderstaande tabel.
<table>
<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>
• Het voerverbruik per aanwezige legkip vanaf 20 weken moet minimaal 105 g per dier per dag zijn.
• 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.</td></tr>
<tr><td>Water</td><td colspan="3">Er moet worden 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).
• Water moet tijdens de lichtperiode onbeperkt worden verstrekt. De water/voerverhouding moet 1,7 tot 1,8 bedragen.
• Er mogen geen wateradditieven worden gebruikt die mogelijk een pH verlagend effect hebben (zoals bijvoorbeeld organische zuren).</td></tr>
<tr><td>Productie</td><td colspan="3">De eiproductie moet op jaarbasis minimaal 300 eieren/kip bedragen.</td></tr>
<tr><td>Gezondheid, inspectie en hygiëne</td><td colspan="3">Er moet worden 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).</td></tr>
</table>

	• Het uitvalspercentage mag maximaal 10% over de volledige productieperiode zijn.
Aantal dieren	Het aantal dierplaatsen in de stal waarin wordt gemeten moet minimaal 10.000 zijn voor een praktijkbedrijf en 1.000 voor een case-control proefopzet in een proeffaciliteit.
Registratie	• *Tijdens de metingen en tenminste vier weken voorafgaand aan de metingen:* - datum en aantal van aanwezige dieren (aantal bij opzet minus uitval); - voersamenstelling, voergift, waterverbruik; - aard en hoeveelheid van het verstrekken van stro(oisel); - technische resultaten op koppel- en weekniveau: gemiddeld diergewicht (kg), gemiddeld aantal eieren per dag, legpercentage (%), gemiddeld eigewicht (gram), uitval (%). • *Tijdens de metingen:* - datum en tijdstip (begin- en eindtijd) van verwijderen van mest/strooisel uit de afdeling/stal; - datum en tijdstip van het afdraaien van mestbanden; - CO_2-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.

<table>
<tr><th colspan="4">Landbouwkundige randvoorwaarden</th></tr>
<tr><td></td><td>Categorie:
Pluimveehouderij</td><td>Subcategorie:
Vleeskuikens</td><td>Datum:
April 2026</td></tr>
<tr><td>Huisvesting</td><td colspan="3">• Er moet worden 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).
• Wanneer een interventie (huisvestingssysteem, staltechniek of managementmaatregel) wordt onderzocht bij een specifiek keurmerk/marktconcept (bijvoorbeeld het Beter Leven keurmerk) of gecertificeerde productiewijze (bijvoorbeeld biologisch), moeten die eisen met betrekking tot huisvesting, voeding, gezondheid, enzovoort, worden gevolgd. Op een bedrijf met de biologische productiewijze moeten de eisen van SKAL worden gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).</td></tr>
<tr><td>Strooisel</td><td colspan="3">Vloeren moeten voorafgaand aan de binnenkomst van de dieren ingestrooid worden met houtkrullen (0,6 - 1,5 kg/m^2), (gehakseld) stro (0,6 - 2,0 kg/m^2), vlas, stropellets of hennep. Turf en snijmaissilage mogen niet worden toegepast vanwege een (mogelijke) ammoniakreducerende werking.</td></tr>
<tr><td>Klimaat</td><td colspan="3">De dieren moeten worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO_2-concentratie in de lucht van de stal onder de 3.000 ppm blijft.</td></tr>
<tr><td>Voeding</td><td colspan="3">• Er moet worden 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 gangbaar bedrijf moeten de vleeskuikens een voer krijgen conform de richtlijnen vermeld in onderstaande tabel (CVB-normen, 2018).
<table>
<tr><th></th><th>OE_{vlk} (MJ/kg)</th><th>Ruw Eiwit (g/kg)</th><th>vLYS (g/kg)</th><th>v(M+C) (g/kg)</th></tr>
<tr><td>Vleeskuiken starter (0 - 10 d.)</td><td>11,9</td><td>205 - 215</td><td>11,7</td><td>8,5</td></tr>
<tr><td>Vleeskuikenvoer I (11 - 21 d.)</td><td>12,2</td><td>195 - 205</td><td>10,5</td><td>7,7</td></tr>
<tr><td>Vleeskuikenvoer II (21 - 29 d.)</td><td>12,3</td><td>185 - 195</td><td>10,2</td><td>7,4</td></tr>
<tr><td>Vleeskuikenvoer afmest (30 d. tot einde)</td><td>12,6</td><td>175 - 185</td><td>9,7</td><td>7,1</td></tr>
</table>
• 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.</td></tr>
<tr><td>Water</td><td colspan="3">• Er moet worden 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 moet tijdens de lichtperiode onbeperkt worden verstrekt. De water/voerverhouding moet 1,65 - 1,85 bedragen.
• Er mogen geen wateradditieven worden gebruikt die (mogelijk) een pH verlagend effect hebben (zoals bijvoorbeeld organische zuren).</td></tr>
<tr><td>Productie</td><td colspan="3">Op gangbare bedrijven moeten de dieren een eindgewicht hebben van gemiddeld minimaal 2.400 gram op een leeftijd van maximaal 41 dagen.</td></tr>
<tr><td>Gezondheid, inspectie en hygiëne</td><td colspan="3">• Er moet worden 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).
• Voor een gangbaar bedrijf mag het uitvalspercentage over de totale ronde maximaal 5% zijn.</td></tr>
<tr><td>Aantal dieren</td><td colspan="3">Het aantal dierplaatsen in de stal waarin wordt gemeten moet minimaal 15.000 zijn voor een praktijkbedrijf en 1.000 voor een case-control proefopzet in een proeffaciliteit.</td></tr>
<tr><td>Registratie</td><td colspan="3">Tijdens de rondes waarbinnen de metingen vallen:</td></tr>
</table>

	- datum en aantal van aanwezige dieren (aantal bij opzet minus uitval); - voersamenstelling, voerverbruik, waterverbruik, watervoerverhouding; - aard en hoeveelheid van het verstrekken van stro(oisel); - technische resultaten op rondeniveau: begingewicht (g), eindgewicht (g), groei (g/dier), groeisnelheid (g/dier/dag), voerconversie, watervoerverhouding, uitval (%); - CO_2-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); - 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:* April 2026
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.• Wanneer een interventie (huisvestingssysteem, staltechniek of managementmaatregel) wordt onderzocht bij een specifiek keurmerk/marktconcept (bijvoorbeeld het Beter Leven keurmerk) of gecertificeerde productiewijze (bijvoorbeeld biologisch), moeten die eisen met betrekking tot huisvesting, voeding, gezondheid, enzovoort, worden gevolgd. Op een bedrijf met de biologische productiewijze moeten de eisen van SKAL worden gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij).		
Klimaat	De geiten moeten worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO_2-concentratie in de stallucht 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.		
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 moet worden 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.		
Aantal dieren	Het aantal melkgevende en droogstaande geiten moet minimaal 200 zijn.		
Registratie	• *Tijdens de metingen en minimaal 4 weken voorafgaand aan de metingen:* - 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 van aanwezige lacterende geiten. • *Tijdens de metingen:* - per pot: de potdiepte (cm; afstand potbodem – stro-oppervlak) en aanwezig stromestvolume (m^3). Frequentie: maandelijks én voorafgaand aan en na afloop van het uitmesten van een stropot; - datum, tijdstip (start- en eindtijd) en methode van uitmesten van stropotten; - CO_2-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

i. Introductie in de natuurlijke tracergas ratiomethode op basis van CIGR (2002) en Pedersen et al. (2008)

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 CO_2-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 diens 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 CO_2-productie zoals gepubliceerd in Tabel 6 in Pedersen et al. (2008) zijn als volgt (alle waarden in m^3 CO_2/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 deze *total heat* naar CO_2 conversiefactoren ingebracht in de formules van CIGR (2002).

ii. Een evaluatie van de prestaties van de CO_2-productieregels en/of de natuurlijke tracergas ratiomethode voor het ventilatiedebiet in validatiestudies sinds 2008

De werkgroep heeft ten behoeve van versie 3 in februari 2026 een evaluatie gedaan van de prestaties van de CO_2-productieregels, en/of de natuurlijke tracergas ratiomethode voor het ventilatiedebiet, in bij de werkgroep bekende validatiestudies sinds 2008. De volgende acht studies zijn betrokken in de evaluatie:

Carranza-Diaz et al., 2025. Adaptation and validation of the CO_2 balance method for ventilation rate estimation in laying hen houses. J. ASABE 68:775-789. https://doi.org/10.13031/ja.16383.

Declerck et al., 2025. Meetcampagne voor de bepaling van de ammoniakemissies van een traditionele melkveestal. ILVO Mededeling D-2025-06. Online beschikbaar op: Meetrapport-ammoniakemissie-traditionele-melkveestal_finaal_digital.pdf

Dong et al., 2026. Modelling CO_2 production of fast- and slow-growing broilers and quantifying litter contribution. Biosystems Engineering, manuscript under review.

Edouard et al., 2016. Comparison of CO_2- and SF_6-based tracer gas methods for the estimation of ventilation rates in a naturally ventilated dairy barn. Biosystems Engineering 149:11-23. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.06.001.

Kjeldsen et al., 2024. Predicting CO_2 production of lactating dairy cows from animal, dietary, and production traits using an international dataset. Journal of Dairy Science 107:6771-6784. https://doi.org/10.3168/jds.2023-24414.

Mosquera et al., 2012. Evaluation of the CO_2 mass balance method to calculate ventilation rates from mechanically ventilated livestock buildings. Conference paper, Ninth International Livestock Environment Symposium, Valencia, Spain, July 8-12, 2012.

Mosquera et al., 2025. Stalemissie van ammoniak, methaan, lachgas, geur en PM_{10}: Resultaten van praktijkmetingen in stallen voor jongvee, blankvleeskalveren, rosévleeskalveren, geiten, biggen, vleesvarkens en dragende zeugen. Rapport 1512. Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/674362.

Schep et al., 2025. Praktijkvalidatie van het CIGR-model voor CO_2-productie in stallen met lacterende HF-melkkoeien. Rapport 1592. Wageningen Livestock Research. https://doi.org/10.18174/700580.

Uit de evaluatie van deze acht studies werden de volgende conclusies getrokken:

- bij leghennen en snelgroeiende vleeskuikens lijken de huidige rekenregels op basis van CIGR (2002) en Pedersen et al. (2008) goed te presteren (Mosquera et al., 2012; Dong et al., 2026);
- bij melkkoeien vinden vier studies dat de rekenregels op basis van CIGR (2002) en Pedersen et al. (2008) de werkelijke CO_2-productie onderschatten (Edouard et al., 2016; Kjeldsen et al., 2024; Declerk et al., 2025; Schep et al., 2025) met respectievelijk 10-12%, 15%, 9% en 16%. Hoewel studiedesigns, methoden en precieze percentages verschillen, wijzen alle vier de studies op een onderschatting in een bandbreedte tussen 9 en 16%. De werkgroep concludeert op basis hiervan dat de rekenregels op basis van CIGR (2002) en Pedersen et al. (2008) onvoldoende presteren om (in de huidige vorm) te blijven gebruiken;
- bij melkgeiten lijken de huidige rekenregels op basis van CIGR (2002) en Pedersen et al. (2008) goed te presteren (Mosquera et al., 2025), mits de CO_2-productie uit de stropot wordt gemeten en wordt opgeteld bij de CO_2-productie door de dieren;
- bij vleeskalveren lijken de huidige rekenregels op basis van CIGR (2002) en Pedersen et al. (2008) onvoldoende te presteren (Mosquera et al., 2025).

iii. De rekenregels

Melkrundvee

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

De hierboven weergegeven (en doorgestreepte) rekenregel voor de CO_2-productie van melkkoeien van CIGR (2002) en Pedersen et al. (2008) lijkt op grond van vier studies de werkelijke CO_2-productie naar alle waarschijnlijkheid te onderschatten. Voor melkkoeien acht de werkgroep het "Model 3: reduced on-farm model" van Kjeldsen et al. (2024; pagina 6778) de best beschikbare werkwijze. Deze rekenregel berekent de CO_2-productie van één individuele melkkoe en dat direct, dat wil zeggen: zonder tussenstap via warmteproductie:

$$(b_0 + (b_1 \times ECM) + (b_2 \times DIM) + breed + parity + (b_{breed,parity}) + (b_{DIM,DietCF} \times DIM \times Diet\ CF) + (b_{ECM,DIM} \times ECM \times DIM) + (b_{DIM,breed} \times DIM) + (b_{MilkCF,parity} \times Milk\ CF))\ x\ 0{,}000546/24 \quad (1)$$

Met als hoofdtermen:

- b_0 = de intercept (een constante)
- b_1 = de regressiecoëfficiënt van **ECM** (**Energy Corrected Milk**; de energie-gecorrigeerde hoeveelheid melk in kg/dag)

- b_2 = de regressiecoëfficiënt van **DIM** (**Days in Milk**; het aantal dagen in lactatie);
- *breed* = het effect van **breed** (ras; drie niveaus);
- *parity* = het effect van **parity** (pariteit; drie niveaus);

Met als interactietermen:

- $b_{ECM,DIM}$ = de regressiecoëfficiënt van de interactie tussen ECM en DIM
- $b_{DIM,DietCF}$ = de regressiecoëfficiënt van de interactie tussen DIM en **DietCF** (**Diet Crude Fat**; het vetgehalte in het rantsoen in g/kg drogestof)
- $b_{ECM,DIM}$ = de regressiecoëfficiënt van de interactie tussen ECM en DIM
- $b_{DIM,breed}$ = de ras-specifieke regressiecoëfficiënt voor DIM (interactie tussen breed (het ras) en DIM)
- $b_{breed,parity}$ = de ras-specifieke regressiecoëfficiënt voor iedere parity (de pariteit)
- $b_{MilkCF,parity}$ = de pariteit-specifieke regressiecoëfficiënt voor **MilkCF** (het melkvetgehalte in g/kg)
- De factor 0,000546/24 tenslotte, is de omrekening van g CO_2/dag bij 0 °C naar m^3 CO_2/uur bij 20 °C.

Merk op dat dit model gebruikt maakt van zes (hierboven in vet weergegeven) termen, als hoofdterm of als interactieterm. Het model is door Kjeldsen et al. (2024) bedoeld om de CO_2-productie van één individuele melkkoe te berekenen. Sommige termen hebben dan ook betrekking op een individueel dier, zoals het ras (Holstein, Jersey, Overige rassen/kruisingen) of de pariteit (eerste, tweede of derde en hogere pariteit). Desondanks kan voor iedere term een koppelgemiddelde of waarde die het koppel het beste benadert, worden gebruikt. Op deze manier kan het model op koppelniveau (en dagniveau) worden toegepast. Berekeningen door WLR laten zien dat de verschillen in CO_2-productie tussen (de optelsom van) dierniveau en koppelniveau kleiner zijn dan 3%. **Het model mag zowel op koppelniveau als op dierniveau worden toegepast** (waarbij in het laatste geval de CO_2-producties van de individuele dieren moet worden gesommeerd).

De hoofdtermen en interactietermen zijn (overgenomen uit Kjeldsen et al. (2024), Table 4):

Term	Eventuele niveaus binnen term	Waarde
b_0	-	8,781
b_1	-	80,3
b_2	-	-4,66
breed	Holstein	-49,0
	Jersey	-2,321
	Overige rassen/kruisingen	-1,237
parity	Eerste pariteit	0
	Tweede pariteit	511
	Derde pariteit en hoger	1587
$b_{ECM,DIM}$	-	0,338
$b_{DIM,DietCF}$	-	-0,149
$b_{DIM,breed}$	DIM x Holstein	6,05
	DIM x Jersey	6,02
	DIM x Overige rassen/kruisingen	11,3
$b_{breed,parity}$	Holstein x Eerste pariteit	0
	Holstein x Tweede pariteit	775
	Holstein x Derde pariteit en hoger	803
	Jersey x Eerste pariteit	0
	Jersey x Tweede pariteit	608
	Jersey x Derde pariteit en hoger	1307
	Overige rassen/kruisingen x Eerste pariteit	0
	Overige rassen/kruisingen x Tweede pariteit	791
	Overige rassen/kruisingen x Derde pariteit en hoger	659
$b_{MilkCF,parity}$	Eerste pariteit x MilkCF	-4,18
	Tweede pariteit x MilkCF	-10,5
	Derde pariteit en hoger x MilkCF	-28,8

Merk op dat dit model alleen de CO_2-productie van de melkkoeien berekent. Om een **CO_2-productie op stalniveau** te krijgen (dat wil zeggen: van de dieren en hun mest) moet de berekende CO_2-productie van de melkkoeien worden **vermenigvuldigd met de factor 1,1**; uitgaande van een bijdrage van de mest van 10% van dat van de dieren (Pedersen et al., 2008).

Voor de hierna volgende overige subdiercategorieën binnen melkvee worden de rekenregels van CIGR (2002) en Pedersen et al. (2008) gehandhaafd.

$$PCO_2\ (droogstaande\ koeien) = 0{,}200\ \times (5{,}6\ m^{0{,}75} + 1{,}6 \times 10^{-5} \times\ p^3)/1000 \quad (2)$$

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

$$PCO_2\ (pinken, niet\ drachtig) = 0{,}200\ \times (7{,}64\ m^{0{,}69} + Y_2 \times \left(\frac{23}{M} - 1\right) \times \left(\frac{57{,}27 + 0{,}302 \times m}{1 - 0{,}171 \times Y_2}\right))/1000 \quad (4)$$

$$PCO_2\ (kalveren) =\ 0{,}170\ \times (6{,}44\ m^{0{,}70} + \left(\frac{13{,}3 \times Y_2 \times (6{,}28 + 0{,}0188 \times m)}{1 - 0{,}3 \times Y_2}\right))/1000 \quad (5)$$

Met:

- PCO_2 = de productie van CO_2 in m^3 CO_2/dier/uur
- m = het gemiddelde gewicht van de dieren in kg
- p = de gemiddelde tijd in dracht in dagen
- Y_1 = de melkproductie in kg melk/dag/dier
- Y_2 = de groeisnelheid bij jongvee in kg/dag
- M = de energiewaarde van het voer in MJ/kg droge stof

In de CIGR-rekenregels wordt een CO_2-productie aangenomen van 0,2 m^3/uur/hpu (heat producing unit), inclusief de CO_2-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 CO_2-productie van alle runderen in de stal (m^3 CO_2/uur; bij een standaardtemperatuur van 20 °C) wordt bepaald als:

$$\begin{aligned} &PCO_2\ (alle\ runderen\ in\ de\ stal) \\ &= \\ &PCO_2\ (melkkoeien) \times aantal\ melkkoeien \\ &+ \\ &PCO_2\ (droogstaande\ koeien) \times aantal\ droogstaande\ koeien \\ &+ \\ &PCO_2\ (drachtige\ pinken) \times aantal\ drachtige\ pinken \\ &+ \\ &PCO_2\ (pinken, niet\ drachtig) \times aantal\ niet\ drachtige\ pinken \end{aligned} \quad (6)$$

Aangezien de staltemperatuur (t_{stal}) tijdens de metingen doorgaans afwijkt van 20 °C, moet er een correctiefactor worden toegepast om de werkelijke CO_2-productie in de stal te bepalen:

$$PCO_2\ (gecorrigeerd) = PCO_2\ (alle\ runderen\ in\ de\ stal) \times (1000 + 4\ \times (20 -\ t_{stal}))/1000 \quad (7)$$

Voor het CO_2-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 CO_2-productiemodel worden gebruikt.

Tabel 1 *Standaardwaarden voor een aantal productiegegevens voor het CO_2-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 (formule mag alleen secundair, naast bijvoorbeeld meetwaaiers, toegepast worden aangezien nadere validatie van de formule vereist is, daarom wordt deze in rood weergegeven)

$$PCO_2\ (vleeskalveren) = 0{,}170 \times \left(7{,}64\ m^{0{,}69} + Y_2 \times \left(\frac{23}{M} - 1\right) \times \left(\frac{57{,}27 + 0{,}302 \times m}{1 - 0{,}171 \times Y_2}\right)\right)/1000 \quad (8)$$

Met:

- PCO_2 = de productie van CO_2 in m^3 CO_2/dier/uur
- m = het gemiddelde gewicht van de dieren in kg
- Y_2 = de groeisnelheid bij jongvee in kg/dag
- M = de energiewaarde van het voer in MJ/kg droge stof

De hierboven vermelde formule, toegepast in de CO_2-massabalansmethode, blijkt ventilatiedebietschattingen te geven die onvoldoende overeenkomen met ventilatiedebieten zoals gemeten met de directe methode van meetwaaiers (Mosquera et al., 2025). Het ventilatiedebiet in vleeskalverstallen moet daarom worden gemeten met één van de andere mogelijkheden van hoofdstuk A6, zoals meetwaaiers. Aanbevolen wordt om (indien mogelijk binnen een meetcampagne) daarnaast ventilatiedebieten te berekenen met de CO_2-massabalansmethode op basis van de hierboven vermelde formule om daarmee de conclusie van Mosquera et al. (2025) al dan niet te bevestigen.

Melkgeiten (bij stropothuisvesting meting CO_2-productie stropot noodzakelijk, zie paragraaf A6.4.3)

$$PCO_2\ (melkgeiten) = 0{,}175 \times (5{,}5\ m^{0{,}75} + 13 \times Y_1)/1000 \quad (9)$$

Met:

- PCO_2 = de productie van CO_2 in m^3 CO_2/dier/uur
- m = het gemiddelde gewicht van de dieren in kg
- Y_1 = de melkproductie in kg melk/dag/dier

Merk op dat Tabel 6 in Pedersen et al. (2008) geen conversiefactoren van *total heat* productie naar CO_2-productie bevat voor melkgeiten. Er is hier gekozen voor de waarde van 0,175 voor schapen.

Met de hierboven vermelde formule wordt alleen de CO_2 geproduceerd door de geiten berekend. Doorgaans worden geiten op een stropot gehouden. De stropot is een grote bron van CO_2. In het geval van een stropot moet óók de **CO_2-productie van de stropot** worden gemeten. De CO_2-productie van de stropot moet worden opgeteld bij de CO_2-productie van de geiten om te komen tot een **CO_2-productie op stalniveau**. De totale CO_2-productie van de stal (m^3 CO_2/uur; bij een standaardtemperatuur van 20 °C) wordt bepaald als:

$$PCO_2\ (\text{op stalniveau}) = PCO_2\ (melkgeiten) \times aantal\ melkgeiten + PCO_2\ (stropot) \quad (10)$$

Varkens

$$PCO_2\ (gespeende\ biggen) = 0{,}185 \times (7{,}4\ m^{0{,}66} + (1 - (0{,}47 + 0{,}003 \times m)) \times (n \times 7{,}4\ m^{0{,}66} - 7{,}4\ m^{0{,}66}))/1000 \quad (11)$$

$$PCO_2\ (vleesvarkens) = 0{,}200 \times (5{,}09\ m^{0{,}75} + (1 - (0{,}47 + 0{,}03 \times m)) \times (n \times 5{,}09\ m^{0{,}75} - 5{,}09\ m^{0{,}75}))/1000 \quad (12)$$

$$PCO_2\ (guste\ en\ dragende\ zeugen, beren\ en\ opfokvarkens) = 0{,}180 \times (4{,}85\ m^{0{,}75} + 8 \times 10^{-5} \times p^3 + 76 \times Y_2)/1000 \quad (13)$$

$$PCO_2\ (kraamzeugen) = 0{,}180 \times (4{,}85\ m^{0{,}75} + 28 \times Y_1)/1000 \quad (14)$$

Met:

- PCO_2 = de productie van CO_2 in m^3 CO_2/dier/uur

- m = het gemiddelde gewicht van de dieren in kg
- n = de dagelijkse energie inname via voer in aantal keren de onderhoudsbehoefte
- p = de gemiddelde tijd in dracht in dagen
- Y_1 = de melkproductie in kg melk/dag/dier
- Y_2 = de groeisnelheid bij drachtige zeugen en gelten in kg/dag
- M = de energiewaarde van het voer in MJ/kg droge stof

Pluimvee

$$PCO_2\ (vleeskuikens \leq 0{,}5\ kg) = 0{,}180 \times 10{,}62\ m^{0{,}75}/1000 \quad (15)$$

$$PCO_2\ (vleeskuikens > 0{,}5\ kg) = 0{,}185 \times 10{,}62\ m^{0{,}75}/1000 \quad (16)$$

$$PCO_2\ (leghennen) = 0{,}180 \times (6{,}8\ m^{0{,}75} + 25 \times\ Y_3)/1000 \quad (17)$$

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

$$PCO_2(kalkoenen) = 0{,}185 \times 9{,}86\ m^{0{,}77}/1000 \quad (18)$$

Merk op dat Tabel 6 in Pedersen et al. (2008) geen conversiefactoren van *total heat* productie naar CO_2-productie bevat voor kalkoenen. Er is hier gekozen voor de waarde 0,185 voor vleeskuikens > 0,5 kg.

Met:

- PCO_2 = de productie van CO_2 in m^3 CO_2/dier/uur
- m = het gemiddelde gewicht van de dieren in kg
- Y_3 = de eiproductie in kg ei/dag

Bijlage A3: voorbeeldberekening uitgebreide meetonzekerheid natchemische bepaling van ammoniak

De onzekerheid van de NH_3-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 NH_3-concentratiemetingen die uitgevoerd zijn met de natchemische methode. Deze bronnen kunnen in de volgende categorieën worden ingedeeld:

a) Gasstroomsnelheid/debiet door de flessen (U_{gs})
b) Herhaalbaarheid NH_3-concentratiemetingen (U_{dc})
c) Bemonsteringstijd (U_t)
d) Chemische analyses in het lab (reproduceerbaarheid labanalyses; U_{lab})
e) Kalibraties (U_{kal})
f) Interferenties (U_{intert})
g) Adsorptie en desorptie in leidingen en monsternamesysteem (U_{ads})
h) Flowmeter (U_{flow})
i) Gasteller en onopgemerkt lekdebiet

Addendum a)

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

$$C_{NH3} = \frac{C_{NH3}^1 + C_{NH3}^2}{2} \quad (2)$$

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

betrouwbaarheidsinterval: 2%). Aan deze bron (herhaalbaarheid NH_3-concentratiemetingen) wordt een standaard onzekerheid U_{dc}**=3%** (normale verdeling; k=1) toegekend.

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

Addendum d)
De bepaling van het ammoniumgehalte in de absorptievloeistof wordt in het laboratorium van Wageningen Livestock Research bepaald volgens de procedure beschreven in de voormalige norm NEN 6472:1983 (ingetrokken; thans NEN-ISO 7150-1). 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. Ze concluderen dat het effect van het verminderen van het aantal gevulde flessen van drie (zoals vermeld in NEN 2826) 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 1 *Lineaire regressie (kalibratie) van de natchemische methode ($NH3_{werkelijk}$ = a*$NH3_{natchemisch}$ + b).*

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

Wanneer de NH_3-concentratiemetingen gecorrigeerd worden door de resultaten van een kalibratieprocedure, is de onzekerheid in de kalibratie gelijk aan de onzekerheid van de standaard kalibratiegassen die gebruikt zijn voor de kalibratie. Aan deze bron (kalibratie natchemische methode) wordt een standaard onzekerheid U_{kal}**=3%** (normale verdeling; k=2) toegekend.

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

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

Addendum h)

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

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

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

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

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

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 moet opgemerkt 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 luchtzuiveringssystemen in het kader van een algemene erkenning

Versie

April 2026

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

B1 Inleiding

B1.1 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 luchtzuiveringssystemen. Uit de periode 2011-2017 bestonden hiervoor in Nederland zes Wageningen Livestock Research Rapporten; één rapport per emissiecomponent. 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. Deel B richt zich op algemene erkenningen van nageschakelde luchtzuiveringssystemen. Verschillen in de aard van de toegepaste interventies vragen om andere proefopzetten, meetstrategieën, meettechnieken en rekenwijzen. In deel A worden absolute emissiegetallen verkregen en in deel B verwijderingsrendementen, voor generiek gebruik in regelgeving of (nationale) emissieregistraties. Dit in contrast met deel C dat emissiemonitoring op een specifiek bedrijf of stal beschrijft in het kader van een doelvoorschriftvergunning.

Deel B is opgesteld op basis van een eerste versie 'Meetrichtlijnen voor luchtzuiveringssystemen' geproduceerd door een werkgroep van het Vlaamse WeComV gepubliceerd op 18 november 2025. Volgens afspraak tussen vertegenwoordigers van Vlaanderen en Nederland medio 2023 is het Vlaamse protocol als basis genomen voor deel B. Vanuit het Vlaamse WeComV en het Vlaamse Wetenschappelijk Secretariaat is er een permanente afvaardiging geweest binnen de 'Werkgroep richtlijnen emissies veehouderij' dat onderhavig rapport schrijft. Daarnaast heeft de voorzitter van de Vlaamse WeComV werkgroep (Eveline Volcke van de Universiteit Gent) deelgenomen aan twee werkgroep bijeenkomsten over deel B. Deel B is daarmee feitelijk een gezamenlijke (Vlaams-Nederlandse) doorontwikkeling van de eerste versie van het Vlaamse protocol. De bestaande inhoud van het Vlaamse protocol is op punten nog verfijnd en de inhoud is verder verbreed met systemen (filtersystemen, ionisatiesystemen, warmtewisselaars, mestdroogtunnels) en emissiecomponenten (stof, fijnstof). Gezien de procedure in Vlaanderen moet de onderhavige versie nog een bekrachtiging ondergaan door het volledige WeComV en door de Vlaamse Overheid.

B1.2 Doel

Dit document heeft als doel om te beschrijven hoe het verwijderingsrendement van aan stalgebouwen nageschakelde luchtzuiveringssystemen op correcte wijze kunnen worden bepaald in het kader van het verkrijgen van een algemene erkenning.

B2 Organisatorische aspecten

Voor de organisatorische aspecten van een meetcampagne in het kader van deel B wordt verwezen naar hoofdstuk A2.

B3 Beschrijving onderzoekslocatie en te onderzoeken luchtzuiveringssysteem

B3.1 Beschrijving onderzoekslocatie

In meetplan en meetrapport moeten de onderzoekslocaties worden beschreven zoals vermeld in paragraaf A3.1.

B3.2 Beschrijving te onderzoeken luchtzuiveringssystemen

Voorafgaand aan het onderzoek moet de producent een systeembeschrijving van het te onderzoeken nageschakelde luchtzuiveringssysteem opstellen. Deze systeembeschrijving is onderdeel van het meetplan en van de rapportage van het onderzoek.

Voor de plaatsing van het luchtzuiveringssysteem worden de volgende drie elementen opgemaakt: (1) een dimensioneringsberekening, (2) een uitvoeringsplan en (3) een technisch plan [1]. Deze moeten toegevoegd worden aan het meetplan.

Aanvullend omvat de beschrijving (indien van toepassing) de volgende aspecten:

- de aard van het nageschakelde luchtzuiveringssysteem (wat is het);
- de specifieke identiteit van het nageschakelde luchtzuiveringssysteem: merk, model, type, productnaam, enzovoort (welke is het);
- de aspecten waarin het nageschakelde luchtzuiveringssysteem verschilt van eerdere modellen/typen of soortgelijke luchtzuiveringssystemen al aanwezig op de markt;
- visualisaties van het nageschakelde luchtzuiveringssysteem middels een schematische tekening, procesdiagram en/of foto's;
- het standaard uit te voeren onderhoud van het nageschakelde luchtzuiveringssysteem;
- een beschrijving en kwantificering van in- en uitgaande stromen (vloeistoffen, materialen, energie, afval, enzovoort);
- werkingsprincipe waarlangs emissie ontstaat of gereduceerd wordt, met inbegrip van de technische, fysische en chemische principes waarmee dit gebeurt;
- de te verwachten omvang van het reducerend effect van het nageschakelde luchtzuiveringssysteem op de emissies;
- eventuele opstarttijd van het luchtzuiveringssysteem totdat de omvang van het effect volledig is;
- de ontwerpparameters waarvoor het luchtzuiveringssysteem werd gedimensioneerd. Dit betreft minimaal het te verwachten bereik aan:
  - ventilatiedebieten;
  - emissiecomponent concentraties emissiecomponent (enkel voor diegene die bemeten gaan worden);
- de aanwezige processturing en regelkringen

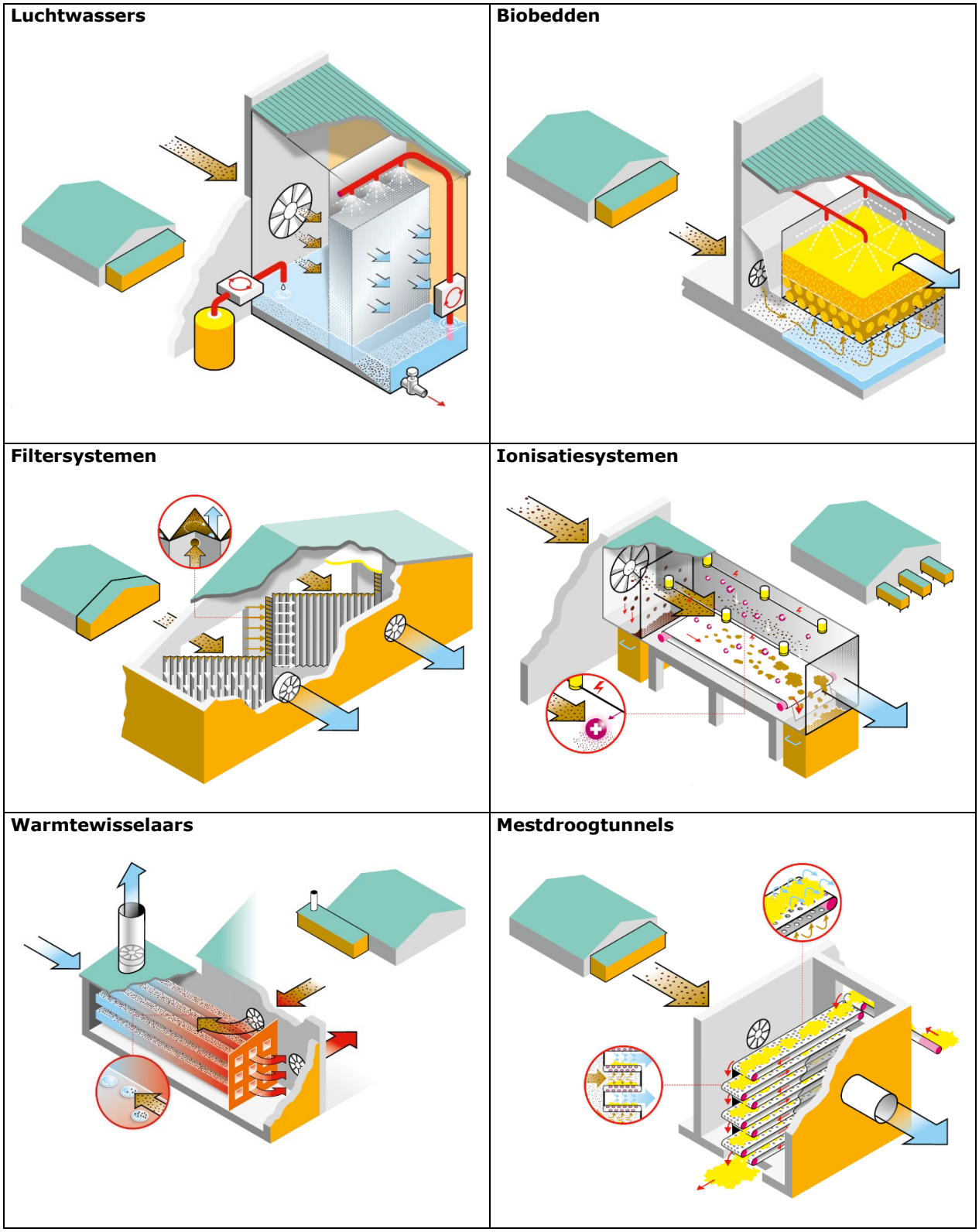
In dit rapport worden zes hoofdtypen nageschakelde luchtzuiveringssystemen onderscheiden:

1. Luchtwassers (verwijdering ammoniak, geur en stof)
2. Biobedden (verwijdering ammoniak, geur en stof)

[1] In Vlaanderen is dit vastgelegd in het ministerieel besluit van 16 juli 2021 (art. 5.2.1.3), zie addendum 2, 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 stalsysteem, het systeem P-6.4, de voorwaarden voor luchtzuiveringssystemen en de aanvraagprocedure voor opname in de lijst van ammoniakemissiearme stalsystemen.

3. Filtersystemen (verwijdering stof)
4. Ionisatiesystemen (verwijdering stof)
5. Warmtewisselaars (verwijdering stof)
6. Mestdroogtunnels (verwijdering stof, maar bron van ammoniak en geur)

In Figuur B3.1 zijn zes infographics opgenomen die de technische structuur en werking van bovengenoemde hoofdtypen luchtzuiveringssystemen visueel weergeven. Per hoofdtype volgt in de hiernavolgende paragrafen een korte toelichting, en is aangegeven welke kenmerken, ontwerpparameters en operationele parameters moeten worden beschreven.



Figuur B3.1 *Infographics van de zes hoofdtypen luchtzuiveringssystemen in dit rapport. Bron: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I), 2011. Schone lucht voor iedereen. Brochure van juni 2011. Illustraties gecreëerd door Anke Nobel, Anke Nobel Illustraties en Infographics te Lelystad, in opdracht van Wageningen Livestock Research.*

B3.2.1 Luchtwassers (verwijdering ammoniak, geur en stof)

Stallucht wordt uit de stal gezogen en door de luchtwasser gestuwd door middel van ventilatoren. Vóór het luchtwaspakket zit een **drukkamer** waarin overdruk wordt opgebouwd. De **ventilatoren** bevinden zich in de afscheiding tussen de luchtaanvoer en de drukkamer. De lucht wordt meestal op één van drie methoden aangevoerd: 1) via een **centraal luchtkanaal** tussen de afdelingen met dieren en de drukkamer, 2) via een zolder boven de afdelingen met dieren (de zolder is dan een groot luchtkanaal), en 3) direct vanuit de stalruimte met dieren als er één grote dierruimte is (vaak bij: leghennen, vleeskuikens, vleeskalveren). Methode 1) en 2) komen veel voor in varkensstallen waar de dieren in afzonderlijke afdelingen worden gehouden. Bij methode 1) en 2) zitten de ventilatoren tussen het einde van het centrale luchtkanaal of zolder en de drukkamer. Deze ventilatoren zuigen meer lucht aan dan de afdelingen nodig hebben. In de scheiding (plafond, wand) tussen afdelingen en centrale luchtkanaal of zolder zitten dan vaak zogenaamde '**smoorkleppen**'. Deze smoren de ventilatiehoeveelheid terug naar de ventilatiebehoefte van de specifieke afdeling. Vaak zijn deze smoorkleppen uitgerust met **meetwaaiers** die de ventilatiehoeveelheid (m^3/uur), gerealiseerd door ventilatoren en smoorklep, registreren. In de luchtwasser stroomt de lucht door één of meerdere wasstappen. Een wasstap is soms een **watergordijn**, maar bevat meestal een **waspakket** bestaande uit een veelal kunststof honingraat- of lamellenstructuur. De functie van het waspakket is het maximaliseren van het **contactoppervlak** en de werkelijke **verblijftijd**, leidend tot een efficiënte overdracht van stoffen. Een **sproeisysteem** verdeelt wasvloeistof gelijkmatig over het waspakket. Bij een 'dwarsstroomprincipe' wordt er van boven besproeid terwijl de ventilatielucht horizontaal door het waspakket stroomt (haaks op de richting van het waswater). Bij een 'tegenstroomprincipe' wordt er van boven besproeid terwijl de ventilatielucht van beneden naar boven door het waspakket stroomt (in tegengestelde richting). Het waswater wordt opgevangen in een **waterreservoir**. Een **pomp** recirculeert dit water naar het sproeisysteem, zodat er een waswaterkringloop ontstaat.

In een **chemische luchtwasser** voegt een doseringssysteem zuur (vaak **zwavelzuur**, H_2SO_4) toe aan het waswater. Gasvormig ammoniak [NH_3 (g)] in de ventilatielucht lost op in het waswater tot vloeibaar ammonia [NH_3 (aq)] en reageert met zwavelzuur tot ammonium [NH_4^+ (aq)] en vervolgens **ammoniumsulfaat** [$(NH_4)_2SO_4$ (aq)], een (ammonium)zout dat in het waswater aanwezig blijft. De afgevangen stikstof in de vorm van ammoniumsulfaat wordt periodiek afgevoerd als **spuiwater**.

In een **biologische luchtwasser** zijn er levende **micro-organismen** aanwezig in het waswater en als **biofilm** op het oppervlak van het waspakket. Gasvormig ammoniak [NH_3 (g)] in de ventilatielucht lost op in het waswater tot ammonia [NH_3 (aq)] en vormt ammonium [NH_4^+ (aq)]. Ammonium reageert met zuurstof tot **nitriet** (NO_2^-) via ammoniumoxidatie [NH_4^+ (aq) + 1,5 O_2 (aq) → NO_2^- + H_2O (l) + 2 H^+ (aq)] en nitriet vervolgens tot **nitraat** (NO_3^-) via nitrietoxidatie [NO_2^- + 0,5 O_2 (aq) → NO_3^- (aq)]. Het totale proces van nitraatvorming heet **nitrificatie**. Deze omzettingen gebeuren door bacteriën van onder andere de soorten *Nitrosomas spp*. en *nitrobacter spp*. Het oplossen van 1 molecuul ammoniak uit de lucht in het waswater consumeert 1 molecuul zuur (H^+) en de omzetting van 1 molecuul ammonium naar 1 molecuul nitraat, produceert 2 moleculen zuur, zodat er netto 1 molecuul zuur per molecuul ammoniak wordt geproduceerd. Zonder verder ingrijpen zou een biologische luchtwasser verzuren waardoor de micro-organismen afgedood zouden worden. Voor een goede werking moet de pH stabiel blijven tussen 6,5 en 7,5. De pH wordt binnen deze bandbreedte gehouden door het periodiek afvoeren van spuiwater (met daarin nitriet, nitraat, zuur en micro-organismen) en het aanvullen van het waswater met schoon water. Als een biologische luchtwasser verzuurt (pH < 6,5) veranderen de biologische processen in het waswater en kan er lachgas (N_2O), stikstofoxiden (NO_x; bestaande uit stikstofmonoxide (NO) en stikstofdioxide (NO_2)) en stikstofgas (N_2) gevormd worden. Stikstofgas is inert en onschadelijk, maar lachgas is een sterk broeikasgas en stikstofoxiden luchtvervuilende gassen: vorming van de laatste twee is zeer ongewenst.

Met de productie van ammoniumsulfaat in chemische luchtwassers en ammonium, nitriet en nitraat in biologische luchtwassers neemt de **elektrische geleidbaarheid** (*electrical conductivity*, EC; uitgedrukt in millisievert per centimeter (mS/cm)) van het waswater toe. De EC mag volgens de informatie van het Nederlandse 'Informatiepunt Leefomgeving' (www.IPLO.nl) en conform de systeembeschrijvingen bij de luchtwassers maximaal 250 mS/cm bedragen in chemische luchtwassers en 15 tot 25 mS/cm in biologische luchtwassers.

Naast ammoniak verwijderen luchtwassers een deel van de **geur**stoffen. Beide worden verwijderd door absorptie, chemische omzetting en microbiologische omzetting. Stof wordt fysisch (mechanisch) afgevangen door voornamelijk impactie van stofdeeltjes met waswaterdruppels en het vochtige waspakket.

In een **gecombineerde luchtwasser** bestaan er meerdere wasstappen in serie, zoals: een waterwasstap of watergordijn (stofverwijdering), een biologische wasstap en een chemische wasstap. De gereinigde lucht verlaat de luchtwasser door een druppelvanger dat voorkomt dat waswaterdruppels mee naar buiten worden geblazen.

De volgende operationele parameters moeten continu elektronisch worden gemonitord:
- de zuurgraad van het waswater, uitgedrukt in pH;
- de geleidbaarheid van het waswater, uitgedrukt in mS per cm;
- de spuiwaterproductie, uitgedrukt in liters;
- de drukval over de luchtwasser, uitgedrukt in Pa;
- het elektriciteitsverbruik van de waswaterpomp of waswaterpompen, uitgedrukt in kWh;
- het waswaterdebiet, uitgedrukt in liters per uur.

Alle operationele parameters moeten gerapporteerd worden over de periode van de meetcampagne.

B3.2.2 Biobedden (verwijdering ammoniak, geur en stof)

Een biobed is vergelijkbaar met een biologische luchtwasser maar in het biobed bestaat het waspakket niet uit een veelal kunststof honingraat- of lamellenstructuur, maar een **organisch vulmateriaal** (ook wel: pakkingsmateriaal) zoals compost, boomschors, wortelhout, houtsnippers, heide of turf. Het vulmateriaal wordt eerder vochtig gehouden dan continu besproeid zoals in luchtwassers. Een (eventueel) **dak** over de bak met vulmateriaal voorkomt overmatig nat worden door regen, hagel en sneeuw, beschermt tegen (drogende, inactiverende) zonnestraling en houdt het vocht beter vast in het vulmateriaal. Het proceswater uit een biobed wordt geen waswater maar **percolaat** genoemd. Als waterverdamping en besproeiing in evenwicht kunnen worden gehouden, en het spoelen van het vulmateriaal om verzuring teniet te doen niet nodig is, wordt er geen of weinig percolaat geproduceerd. Belangrijk is het voorkomen van droge plekken, waar kortsluitstromen van lucht kunnen ontstaan, en van te natte, zuurstofarme, plekken waar ongewenst lachgas gevormd kan worden. De vochtigheid van het vulmateriaal kan gemonitord worden met vochtsensoren in het vulmateriaal. Door ophoping van stof en nitraat en compostering van het vulmateriaal gaat de kwaliteit ervan achteruit en neemt de drukval over het biobed en daarmee de belasting van ventilatoren toe. Als oplossing moet het vulmateriaal periodiek worden omgezet/opgeschud en uiteindelijk periodiek (eens per jaar of enkele jaren) vervangen worden.

De volgende operationele parameters moeten continu elektronisch worden gemonitord:
- het elektriciteitsverbruik en het waterdebiet van de waswaterpomp of de waswaterpompen die de ingaande stallucht bevochtigen, uitgedrukt in respectievelijk liters per uur en kWh;
- de drukval over het biobed met een minimum van drie druksensoren, uitgedrukt in Pa;
- de luchtvochtigheid bovenaan, in het midden en onderaan in het vulmateriaal van het biobed, uitgedrukt in een percentage relatieve vochtigheid.

Visueel moet beoordeeld worden:
- het bevochtigingspatroon van het vulmateriaal.

Alle operationele parameters moeten gerapporteerd worden over de periode van de meetcampagne.

B3.2.3 Droogfiltersystemen (verwijdering stof)

In droogfiltersystemen wordt de ventilatielucht van stallen door een filtermateriaal (een **netwerk van vezels**) gezogen. Deeltjes groter dan de maaswijdte van het vezelnetwerk worden afgevangen door het **zeefprincipe**. Deeltjes kleiner dan de maaswijdte worden afgevangen door **inertiële impactie** en **diffusie**. Een filter kan dus ook efficiënt deeltjes afvangen die kleiner zijn dan de maaswijdte van het vezelnetwerk. Bij droogfilters wordt geen waswater of elektrostatische afvang toegepast. De verwijderingsefficiëntie van schone filters neemt licht toe met de stofbevuiling aan de instroomzijde (de vervuiling heeft een extra filterende werking) totdat het filter te bevuild raakt en ventilatoren te zwaar belast worden. Filters moeten daarom regelmatig worden **vervangen** of **gereinigd**. In de veehouderij worden vooral cilindervormige

patroonfilters toegepast, zowel als enkelvoudige techniek als in warmtewisselaars waar ze vóór het warmtewisselingspakket worden toegepast. Als enkelvoudige techniek zijn stoffilters in Nederland opgenomen in Bijlage VI van de Omgevingsregeling onder code AP100.5. Patroonfilters kunnen vanuit de uitstroomzijde richting de instroomzijde geautomatiseerd worden schoon geblazen met perslucht met een frequentie van meerdere keren per dag tot ieder uur. Wanneer een filter met een gespecificeerde verwijderingsefficiëntie voor een bepaalde stoffractie (bijvoorbeeld 99% voor PM_{10}) op de juiste wijze wordt gedimensioneerd en geïnstalleerd (lekluchtvrij, schadevrij, voldoende filteroppervlak per eenheid ventilatie, enzovoort), wordt de stofemissie via de luchtstroom door het filter met nagenoeg het aangegeven verwijderingsrendement verlaagd.

In de veehouderij wordt verder een **droogfilterwand** toegepast dat niet werkt met een fijn vezelnetwerk maar feitelijk een **impactiegordijn** is. In Nederland is deze techniek opgenomen in Bijlage VI van de Omgevingsregeling onder code AP100.1. Het impactiegordijn bestaat uit twee V-vormige folies met daartussen verticale kanaalvormige holtes. Zowel de folie aan de instroomzijde als de uitstroomzijde bevatten gaten. De instroomgaten en uitstroomgaten liggen niet in elkaars verlengde, maar verspringen in verticale en horizontale zin. De luchtstroom moet in de holte tussen de folies een scherpe bocht maken. Door hun massatraagheid volgen grotere deeltjes hun eigen stroomlijn in plaats van de luchtstroom en impacteren (botsen) tegen de folie. De verwijderingsefficiëntie neemt toe met de deeltjesdiameter. De verwijderingsefficiëntie is ongeveer 60% voor grof stof en 40% voor PM_{10}. Het kleinere $PM_{2.5}$ gedraagt zich echter aerodynamisch gezien meer gasvormig, volgt de luchtstroom, en wordt dus niet of nauwelijks verwijderd door deze droogfilterwand. De techniek wordt enkelvoudig toegepast maar ook als stofverwijderingsstap vóór luchtwassers.

Specifiek voor dit hoofdtype luchtzuiveringssysteem moeten de volgende ontwerpparameters worden beschreven (indien van toepassing):
- de aard van het filtermateriaal;
- de verwijderingsefficiëntie voor één of meerdere deeltjesgroottes voor zover weergegeven in de specificaties van de producent van het filtermateriaal;
- de verhouding tussen het filteroppervlak en het ventilatiedebiet;
- de verwachte (range in) drukval over het filter in Pa;
- de wijze waarop de lekdichtheid van het gehele systeem verkregen wordt;
- de wijze en frequentie van reiniging van het filter.

De volgende operationele parameters moeten continu elektronisch worden gemonitord:
- de drukval over het filtersysteem.

B3.2.4 Ionisatiesystemen (verwijdering stof)

In de veehouderij worden ionisatiesystemen op twee manieren gebruikt: in de stalruimte (stofverwijdering uit de stallucht) en als nageschakeld luchtzuiveringssysteem (stofverwijdering uit de ventilatielucht voordat deze naar buiten uitgestoten wordt). In onderhavig deel B wordt de laatste bedoeld.

In een ionisatiesysteem wordt er elektrische hoogspanning (duizenden of tienduizenden Volt) aangebracht op **elektroden** in de vorm van draden of naalden. De spanning is ofwel van een positieve ofwel van een negatieve polariteit. Hoewel de elektrische spanning groot is, is de elektrische stroom doorgaans gelimiteerd op een laag ampère-niveau. Rond de elektroden ontstaan elektrisch geladen gassen die hun lading overdragen op stofdeeltjes. Nabij de elektroden bevinden zich geaarde **collectoroppervlakken**, bijvoorbeeld in de vorm van platen. De elektrostatisch geladen stofdeeltjes migreren naar de collectoroppervlakken via de reguliere turbulentie van de luchtstroom en via de elektrische veldlijnen van elektroden naar collectoroppervlakken (ionenwind). De deeltjes plakken elektrostatisch aan de collectoroppervlakken die frequent worden gereinigd, bijvoorbeeld via het schudden van de platen. Omdat de ventilatielucht redelijk vrije doorgang heeft door de installatie (de lucht hoeft geen waspakket, organisch pakkingsmateriaal of filter te passeren met de tegendruk van dien) is er weinig drukval door de installatie en is het elektriciteitsverbruik voor ventilatie aanzienlijk lager. Door de lage elektrische stroom (ampère) is het elektrisch vermogen (watt) van de installatie beperkt. In de industrie worden dergelijke systemen **elektrostatische precipitatoren (ESP)** genoemd. In Nederland is er voor zover bekend één systeem

ontwikkeld en beproefd dat als 'ionisatiefilter' is opgenomen in Bijlage VI van de Omgevingsregeling onder code AP2. Met nageschakelde ionisatiesystemen kunnen normaliter verwijderingsefficiënties voor PM_{10} worden bereikt boven 90%.

Specifiek voor dit hoofdtype luchtzuiveringssysteem moeten de volgende ontwerpparameters worden beschreven (indien van toepassing):

- afmetingen van luchtkanalen;
- aantal, type, diameter, aansturing en ventilatiecapaciteit van ventilatoren;
- range in ventilatiedebieten (m^3/uur) en luchtsnelheden (m/s) door het systeem;
- de verwachte (range in) drukval over het systeem (Pa);
- het aantal en de aard van de elektroden;
- het aantal, de aard en het oppervlak van collectoroppervlakken;
- afstanden tussen elektroden, tussen collectoroppervlakken en tussen elektroden en collectoroppervlakken;
- het specifieke collectoroppervlak (m^2 per 1000 m^3/uur);
- wijze en frequentie van reiniging van collectoroppervlakken;
- de verblijftijd van de ventilatielucht in het (leeg veronderstelde) systeem (seconden);
- de elektrische spanning (Volt) en polariteit;
- de verwachte en gemaximeerde elektrische stroom (Ampère);
- het verwachte elektrische vermogen (Watt);
- het specifieke elektrisch vermogen (Watt per 1000 m^3/uur);
- de specifieke elektrische stroom (Ampère per m^2 collectoroppervlak).

De volgende operationele parameters moeten continu worden gemonitord:

- het elektriciteitsverbruik in kWh (continu).

B3.2.5 Warmtewisselaars (verwijdering stof)

In een warmtewisselaar wordt de (door het verwarmingssysteem en/of de dieren) opgewarmde uitgaande ventilatielucht langs de koudere ingaande ventilatielucht geleid zonder dat de twee luchtstromen met elkaar mengen. De luchtwisseling vindt plaats in een **warmtewisselingskern** van **buizen of lamellen**. Zo komt er al **voorverwarmde, frisse lucht** de stal in. Dit leidt, bijvoorbeeld in vleeskuikenstallen die de eerste weken van een groeironde worden verwarmd, tot besparing van energiekosten. Doordat koude, binnenkomende lucht wordt voorverwarmd ontstaat er een stabieler en gezonder binnenklimaat voor de dieren. Waar in sommige stallen (zoals voor leghennen en vleeskuikenouderdieren) de ventilatie in koude winterperioden in enige mate wordt 'geknepen' om de warmteproductie van de dieren binnen het stalgebouw te houden, kan er met een warmtewisselaar ruimer worden geventileerd zonder dat de staltemperatuur te veel zakt, wat de concentraties van ongunstige gassen in stallucht, zoals ammoniak en koolstofdioxide, ten goede komt. Sommige warmtewisselaars zijn ook uitgerust met een sproeisysteem voor koud water waarmee de ingaande ventilatielucht kan worden gekoeld zonder dat de lucht in contact komt met het water. Deze functionaliteit kan de temperatuur van de ingaande ventilatielucht tot ongeveer tien graden Celsius verlagen wat hittestress bij dieren op hete dagen kan voorkomen. Een bijeffect van warmtewisselaars is dat in de warmtewisselingskern stofdeeltjes worden afgevangen via impactie, diffusie en sedimentatie. In sommige warmtewisselaars worden **droogfilters** toegepast vóór de warmtewisselingskern waarmee de warmtewisselingskern wordt beschermd tegen stofvervuiling. Daarmee wordt ook de totale afvangst van stof door de hele installatie vergroot.

Specifiek voor dit hoofdtype luchtzuiveringssysteem moeten de volgende ontwerpparameters worden beschreven (indien van toepassing):

- afmetingen van luchtkanalen;
- aantal, type, diameter, aansturing en ventilatiecapaciteit van ventilatoren;
- de range in ventilatiedebieten (m^3/uur) en luchtsnelheden (m/s) door het systeem;
- de verwachte (range in) drukval over het systeem (Pa);
- de technische uitvoering van de warmtewisselingskern;
- de aanwezigheid van droogfilters vóór de warmtewisselingskern, met:
    - de aard van het filtermateriaal;

- de verwijderingsefficiëntie voor één of meerdere deeltjesgroottes voor zover weergegeven in de specificaties van de producent van het filtermateriaal;
- de verhouding tussen het filteroppervlak en het ventilatiedebiet;
- de verwachte (range in) drukval over het filter in Pa;
- de wijze waarop de lekdichtheid van het gehele systeem verkregen wordt;

de wijze en frequentie van reiniging van het filter.

B3.2.6 Mestdroogtunnels (verwijdering stof, bron van ammoniak en geur)

Mestdroogtunnels zijn installaties om pluimveemest in één tot enkele dagen te drogen van circa 25-30% drogestof (verse keutels) naar circa 80% drogestof. Ze worden alleen toegepast bij opfokleghennen en volwassen leghennen. Het huisvestingssysteem in de stal moet daarvoor beschikken over mestbanden (zoals bij volièrehuisvesting) om de mest uit de stal te verwijderen en naar de **doseerunit** van de mestdroogtunnel te transporteren. De mestdroogtunnel bestaat uit meerdere niveaus van **geperforeerde kunststof banden** ('bandendroger') of **geperforeerde metalen platen** ('platendroger'). Elke band of plaat is een rondgaand eindloos geheel als ware het een transportband. De doseerunit van de mestdroogtunnel verspreidt de verse keutels over de band of plaat van het bovenste niveau met een zwenkende beweging (van links naar rechts) terwijl de band of plaat in de lengterichting van de doseerunit vandaan beweegt (rondgaat). Aan het einde van het ene niveau vallen de keutels naar beneden op het begin van het daar onder liggende niveau dat in tegengestelde richting beweegt ten opzichte van het niveau erboven ('terug'). Door verschillende niveaus met een verschillende snelheid te laten bewegen kan de **mestlaagdikte** worden gevarieerd tussen hogere (nattere) lagen en lagere (drogere lagen). In mestdroogtunnels is meestal mest van meerdere dagen aanwezig dat in meerdere batches in de mestdroogtunnels is gebracht. Aan het einde van het laatste niveau wordt de gedroogde mest uit de installatie getransporteerd naar een mestopslag in de vorm van een container of loods. De droging vindt plaats door ventilatielucht (opgewarmd door de kippen) door de geperforeerde banden of platen, en door de mestlaag, te stuwen. Daarvoor bouwen **drukventilatoren** overdruk op in een **drukkamer** aan de instroomzijde van de mestdroogtunnel. Omdat mestdroogtunnels vaak langgerekte installaties zijn is de drukkamer vaak eerder een langgerekte drukgang. Mestdroogtunnels kunnen gepositioneerd zijn inpandig in de stal, onder een verlengd staldak, langszij de zijgevel van de stal onder een afdak of in een aparte loods waar zowel de mest heen wordt getransporteerd als de ventilatielucht naartoe wordt aangezogen. Mest en drooglucht hoeven niet uit dezelfde stal te komen. Er zijn bijvoorbeeld situaties waar meerdere stallen mest leveren aan een mestdroogtunnel die verbonden is aan de ventilatieluchtstroom van slechts één of twee van die stallen. Als er meerdere stallen (met verschillende leeftijden en verschillende strooiselkwaliteiten) warme ventilatielucht leveren aan een langgerekte drukgang (bijvoorbeeld haaks op de eindgevels gepositioneerd), dan kunnen er substantiële gradiënten/variaties zijn in emissiecomponent concentraties over de lengte van de drukgang, zodat er meerdere meet-/monsternameposities nodig zijn om de emissiecomponent concentratie valide te meten. Bij het passeren van de mestlaag wordt stof uit de ventilatieluchtstroom gefilterd. De verwijderingsefficiëntie neemt toe met de mestlaagdikte. In platendrogers wordt een grotere laagdikte toegepast dan in bandendrogers waardoor de verwijderingsefficiëntie voor platendrogers groter is dan voor bandendrogers. Altijd wordt de minimum ventilatiebehoefte van circa 1 tot 2 m^3/uur/dier (als eerste) door de mestdroogtunnel gestuwd, oplopend tot 3 of 4 m^3/uur/dier. Als de ventilatiebehoefte de capaciteit van de drukventilatoren voor droging overschrijdt, springen er **bypassventilatoren** bij die lucht direct vanuit de stal naar buiten uitwerpen. De verwijdering van stof vindt dus plaats over een deelstroom van de totale ventilatiestroom uit een pluimveestal. In Nederland is er de afgelopen dertig jaar veel onderzoek gedaan naar een optimale werking van droogtunnels en naar het begrijpen en beheersen van emissies uit droogtunnels. Daaruit blijkt dat er bij het vullen, bewegen en uitstorten van mest **stofpieken** kunnen ontstaan waarvan voorkomen moet worden dat die emitteren en de stofverwijdering (ten dele) teniet zouden doen. Verder is gebleken dat er substantiële hoeveelheden extra ammoniak en geur emitteert uit de droogmest dat van dezelfde orde van grootte kan zijn als de emissie uit het stalgebouw met kippen. Om deze extra droogmestemissie te beheersen is het essentieel **frequente stalontmesting** toe te passen (bijvoorbeeld elke 6, 12 of 24 uur alle mest uit de stal; daarbij is mestbandbeluchting in de stal niet zinvol meer), gevolgd door **intensief drogen** van de nattere niveaus. In Nederland zijn de mestdroogtunnels opgenomen in Bijlage VI van de Omgevingsregeling onder codes AP3 met 30% fijnstofreductie op jaarbasis voor de bandendroger en 55% fijnstofreductie op jaarbasis voor de platendroger.

Specifiek voor dit hoofdtype luchtzuiveringssysteem moeten de volgende ontwerpparameters worden beschreven (indien van toepassing):

- de mestaccumulatieperiode in de stal (dagen, uren);
- aantal, type, diameter, aansturing en ventilatiecapaciteit van ventilatoren;
- het minimum en maximum ventilatiedebiet (m^3/uur) door het systeem;
- de verwachte (range in) drukval over het systeem (Pa);
- het aantal niveaus voor mestdroging;
- de uitvoering (aard, materiaal) van de niveaus (banden, platen; kunststof, metaal);
- de diameter van de perforaties (mm) en de totale perforatiegraad (%);
- het specifieke droogoppervlak (m^2/kip);
- de mestlaagdikte, eventueel per niveau (cm);
- de droogtijd (verblijftijd) van één batch mest in het systeem (uren).

De volgende operationele parameters moeten periodiek (tweemaandelijks) worden gemonitord:

- de mestlaagdikte in het systeem;
- het drogestofgehalte (%) van de mest in het systeem (de jongste mest, bovenin; de oudste mest, onderin; de mest in het centrum van het systeem).

B3.3 Combinaties van nageschakelde luchtzuiveringssystemen en van huisvestingssystemen en nageschakelde luchtzuiveringssystemen

De hoofdtypen nageschakelde luchtzuiveringssystemen zoals hier beschreven komen in de praktijk veelvuldig voor als enkelvoudige systemen. Echter, er komen in de praktijk ook combinaties voor van nageschakelde luchtzuiveringssystemen alsook combinaties van een huisvestingssysteem in een stalgebouw met een daarmee geïntegreerd nageschakeld luchtzuiveringssysteem. Voorbeelden:

- een filterwand bovenstrooms van een luchtwasser (serieschakeling) om het grove stof te verwijderen voordat de ventilatielucht de luchtwasser binnentreedt;
- een vleeskuikenstal waarbij een basishoeveelheid ventilatie door een warmtewisselaar wordt geleid (met stoffilterende eigenschappen van het lamellenpakket) en de daarboven vereist ventilatiehoeveelheid door een filterwand wordt gestuwd (parallelle schakeling);
- een leghennenstal met units die de ingaande lucht koelen (door een van de luchtstroom gescheiden koude waterstroom) dan wel verwarmen (door warmtewisseling vanuit de uitgaande luchtstroom), de verse lucht met lage luchtsnelheid inbrengen tussen de dieren (vermindering ammoniakverdamping en stof aerosolisatie) en de uitgaande lucht filteren (in het lamellenpakket voor warmtewisseling) en vervolgens chemisch wassen (chemische luchtwasser).

Dit rapport beschrijft hoe verwijderingsrendementen van enkelvoudige hoofdtypen nageschakelde luchtzuiveringssystemen op correcte wijze kunnen worden bepaald. Voor combinaties van nageschakelde luchtzuiveringssystemen of combinaties van een huisvestingssysteem in een stalgebouw met een daarmee geïntegreerd nageschakeld luchtzuiveringssysteem is in het meetplan maatwerk nodig op basis van het gestelde in delen A en B.

B3.4 Bypassventilatie

Bypassventilatie is een ventilatieluchtstroom dat direct vanuit het stalgebouw naar buiten – en dus om het nageschakelde luchtzuiveringssysteem heen – gaat. Bypassventilatie is in Nederland en Vlaanderen niet toegestaan voor luchtwassers en biobedden. Bij mestdroogtunnels en warmtewisselaars komt bypassventilatie veel voor. Met ionisatiesystemen en filtersystemen kan alle ventilatielucht, maar ook een deel daarvan, gereinigd worden. Dit rapport beschrijft hoe het verwijderingsrendement van nageschakelde luchtzuiveringssystemen op correcte wijze kan worden bepaald op basis van emissiecomponent concentraties van de ingaande en uitgaande lucht van het systeem. Het is daarbij in principe mogelijk dat er ook nog

bypassventilatie plaats vindt. Indien gewenst kan dat emissiedeel uit het stalgebouw gemeten worden op basis van het beschrevene in deel A.

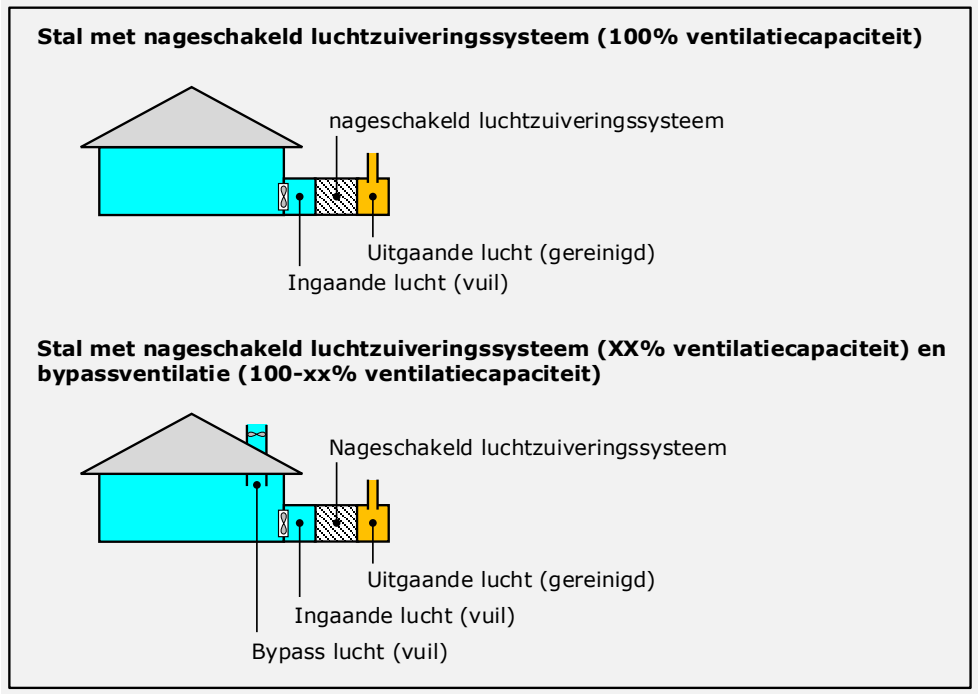
B4 Proefopzet en onderzoekslocaties

B4.1 Uitgangspunt

De proefopzet is het experimenteel ontwerp waarmee het verwijderingsrendement van het te onderzoeken nageschakelde luchtzuiveringssysteem wordt vastgesteld, terwijl verstorende effecten van niet aan het nageschakelde luchtzuiveringssysteem verbonden factoren zoveel als mogelijk worden geminimaliseerd.

B4.2 Beschrijving van de proefopzet

Dit rapport beschrijft hoe het verwijderingsrendement van nageschakelde luchtzuiveringssystemen op correcte wijze kan worden bepaald op basis van emissiecomponent concentraties van de ingaande en uitgaande lucht van het systeem. De proefopzet is telkens dat de uitgaande (gereinigde) luchtstroom wordt vergeleken met de ingaande (ongereinigde) luchtstroom die daarmee conceptueel als de controle gezien kan worden. Deze proefopzet is schematisch weergegeven in Figuur B4.1.



Figuur B4.1 *Schematisch overzicht van de proefopzet in deel B met een nageschakeld luchtzuiveringssysteem.*

B4.3 Aantal onderzoekslocaties

Het aantal onderzoekslocaties bedraagt minimaal twee.

Toelichtend kader: het aantal onderzoekslocaties in deel B

In paragraaf A4.4 (deel A) staat een toelichtend kader over aantallen onderzoekslocaties in meetcampagnes in relatie tot de onzekerheid van het emissiecijfer, meetinspanningen en kosten. In dat kader wordt onderbouwd hoe de werkgroep gekomen is tot de eis van *minimaal* twee onderzoekslocaties bij een case-control proefopzet en *minimaal* vier onderzoekslocaties bij een observationele proefopzet. In dit deel B stelt de werkgroep eveneens de eis van *minimaal* twee onderzoekslocaties voor het bepalen van het verwijderingsrendement van een nageschakeld luchtzuiveringssysteem. De onderbouwing daarvan is als volgt.

Onderbouwing minimum aantal onderzoekslocaties

• Bij nageschakelde luchtzuiveringssystemen wordt het verwijderingsrendement grotendeels bepaald door het ontwerp (bijvoorbeeld het volume van het filterbed), de operationele variabelen (bijvoorbeeld de pH van waswater) en de invloedkarakteristieken (zoals het ventilatiedebiet (bepaalt de verblijftijd – EBRT) en de concentratie van de emissiecomponenten. Voor nageschakelde luchtzuiveringssystemen is de invloed van de onderzoekslocatie (dat wil zeggen: de bedrijfsuitrusting en de bedrijfsvoering) minder groot dan de invloed van ontwerp, operationele variabelen en invloedkarakteristieken. Bij het bepalen van de absolute emissie van een huisvestingssysteem in proefopzet 4 van deel A bestaat er naar verwachting substantiële interactie tussen het huisvestingssysteem, de rest van de bedrijfsuitrusting en de bedrijfsvoering (zoals bijvoorbeeld ras, voeding, enzovoort) en is daarom gekozen voor een groter aantal onderzoekslocaties van minimaal vier.

• Bij twee onderzoekslocaties 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.

Een (tijdelijk) verwijderingsrendement op basis van één onderzoekslocatie

Er kunnen beleidsmatige, juridische of andere redenen bestaan die het wenselijk maken om een tijdelijk verwijderingsrendement op te nemen in regelgeving op basis van het meetresultaat van één (de eerste) onderzoekslocatie dat wordt vervangen door een definitief verwijderingsrendement wanneer ook het meetresultaat van een tweede onderzoekslocatie beschikbaar is gekomen. Om te voorkomen dat het definitieve verwijderingsrendement lager uitvalt dan het tijdelijke, kan het tijdelijke verwijderingsrendement vastgesteld worden als het meetresultaat van de eerste bedrijfslocatie minus een veiligheidsmarge. De werkgroep ziet deze werkwijze als een beleidsmatige keuze dat buiten de scope van dit rapport valt en daarom niet is uitgewerkt en opgenomen. De werkgroep ziet geen wetenschappelijke bezwaren tegen deze beleidsmatige werkwijze. Bij het vaststellen van een veiligheidsmarge is van belang welke statistische grootheid er wordt gekozen als zijnde de *aard* van de veiligheidsmarge en wat de omvang wordt van die grootheid, mogelijk per type nageschakelde luchtzuiveringstechniek en emissiecomponent.

In Nederland is deze werkwijze bijvoorbeeld toegepast door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat toen er in de zogenaamde "fijnstofpilots" – een project uitgevoerd door Aeres Barneveld en Wageningen Livestock Research – rond 2017 meetcampagnes werden opgezet aan fijnstofreducerende technieken voor pluimveestallen die aanvankelijk in één onderzoekslocatie per techniek werden beproefd. Om deze meetresultaten te kunnen opnemen in landelijke regelgeving is op basis van bestaande data van eerder bemeten fijnstofreducerende technieken bepaald welke statistische grootheid van welke omvang een geschikte veiligheidsmarge was. Deze analyse is gepubliceerd in WLR Rapport 1269 (Winkel et al. 2020). Op basis van deze publicatie zijn de succesvolle fijnstofreducerende technieken met een verwijderingsrendement opgenomen in de landelijke regelgeving (nu: bijlage VI bij de Omgevingsregeling) bestaande uit het meetresultaat minus de veiligheidsmarge, in afwachting van de meetresultaten van de tweede onderzoekslocaties.

B4.4 Bemeetbaarheid onderzoekslocaties

B4.4.1 Bereikbaarheid in- en uitlaten

De in– en uitlaten van het nageschakelde luchtzuiveringssysteem moeten op een veilige manier bereikbaar zijn, of gemaakt worden, voor de meetinstantie.

B4.4.2 Homogeniteitsvereiste voor de uitgaande lucht van luchtwassers en biobedden

Alvorens over te gaan tot de eigenlijke metingen, wordt de homogeniteit van het emitterend oppervlak gecontroleerd. Voor luchtwassystemen is deze controle gebaseerd op ammoniakconcentratiemetingen. Voor biobedden moeten naast ammoniakconcentratiemetingen ook luchtsnelheidsmetingen worden uitgevoerd ter controle van de homogeniteit. Voor biobedden waarvoor enkel een verwijderingsrendement voor geur wordt bemeten en niet voor ammoniak, hoeft geen homogeniteitscontrole gebaseerd op ammoniakconcentratiemetingen te worden uitgevoerd. Voor geur hoeft enkel aan de homogeniteitsvoorwaarde op basis van snelheidsmetingen te worden voldaan.

Er moet voldaan zijn aan de eis van homogeniteit. Luchtwassystemen en biobedden met een inhomogeen uittredend oppervlak kunnen niet worden bemeten.

B4.4.3 Homogeniteitscontrole op basis van ammoniakconcentratiemetingen

De homogeniteitscontrole is afgeleid van het Vlaamse Compendium LUC (2022)[1] en is gebaseerd op ammoniakconcentratiemetingen. De homogeniteitscontrole wordt uitgevoerd aan de uitgang van het luchtzuiveringssysteem waarbij een opzetstuk tegen windinslag wordt gebruikt zodat interferentie met verse buitenlucht wordt vermeden (LUC/VII/001). Hiervoor wordt op zes meetplaatsen, gelijkmatig verdeeld over het totale oppervlak, de ammoniakconcentratie gemeten.

Er moet voldaan zijn aan de eis van homogeniteit, die stelt dat de relatieve standaardafwijking (RSD, ook wel variatiecoëfficiënt genoemd) van de zes ammoniakconcentratiemetingen ten hoogste 30% bedraagt.

De relatieve standaardafwijking (RSD) is een maat voor de afwijking van een reeks getallen verspreid rond het gemiddelde en wordt als volgt berekend:

$$\%\,RSD = \frac{s}{\overline{x}}\,x\,100\% \qquad \text{(B1)}$$

Met:

- s = de standaardafwijking
- $\overline{x}$ = de gemiddelde waarde

beide in eenheid analyseresultaat.

De standaardafwijking s wordt berekend met volgende formule:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad \text{(B2)}$$

Met:

- n = het aantal analyses
- x_i = het i-de analyseresultaat (i = 1, …, n)
- $\overline{x}$ = het gemiddelde van n analyseresultaten

De homogeniteitscontrole wordt uitgevoerd met behulp van één van volgende middelen: gasdetectiebuisjes/draagbare elektronische toestellen/een online monitor. De kwantificatielimiet

[1] https://reflabos.vito.be/2023/LUC_VII_001.pdf

(bepalingsgrens) van de meetmethode voor het bepalen van de homogeniteit mag maximaal 1 ppm ammoniak bedragen. Bij toetsing aan het 30%-criterium (zie hiervoor) worden meetwaarden die beneden de bepalingsgrens liggen, meegerekend als de kwantificatielimiet. De herhaalbaarheid (precisie) van de gebruikte meetmethode moet gecontroleerd worden zoals hieronder beschreven.

De herhaalbaarheid van de gebruikte meetmethode wordt verkregen bij uitvoering van alle betreffende metingen door dezelfde analist, met dezelfde meetapparatuur, op zo dicht mogelijk bij elkaar gelegen tijdstippen, typisch op eenzelfde monster. Bepaling van de herhaalbaarheid van een meetmethode gebeurt in principe op praktijkmonsters of monsters die hierop zoveel mogelijk gelijken. Eén van de beschreven methoden uit WAC/VI/A/001 (paragraaf 4.2.1 aldaar) is een herhaalde analyse (minstens 5 keer) van eenzelfde monster. Voor de berekening van de herhaalbaarheidsstandaardafwijking s wordt dezelfde formule (B2) gebruikt. De relatieve standaardafwijking mag niet meer dan 10% bedragen (formule B1). De herhaalbaarheid van de meetmethode ter bepaling van de homogeniteit van de gaswasser dient bij voorkeur op twee ammoniakconcentratieniveaus (respectievelijk in het bereik 1-3 ppm en 5-25 ppm) gecontroleerd te worden, of minimaal in het concentratiebereik waarop de homogeniteitsbepaling gebeurt. Een dergelijke herhaalbaarheidstest met gasdetectiebuisjes werd uitgevoerd door VITO en wordt omschreven in paragraaf 10.4 van het Vlaamse Compendium LUC (2022)[1].

B4.4.4 Homogeniteitscontrole op basis van luchtsnelheidsmetingen (voor biobedden)

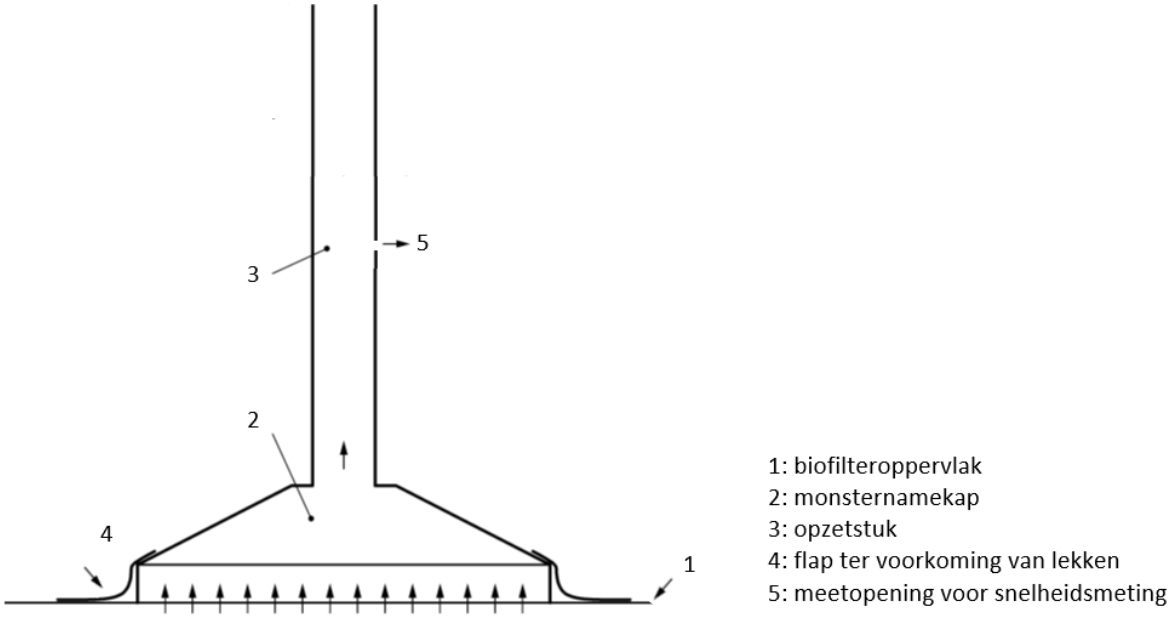
De homogeniteitscontrole wordt, volgens de bepalingen uit de EN 13725 uitgevoerd door middel van snelheids-/debietsmetingen op verschillende plaatsen op het oppervlak van het biobed. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een kegel- of piramidevormige monsternamekap met een oppervlakte van minimaal 1 m² waarop een cilindrisch opzetstuk geplaatst wordt voor de omzetting van de uitgaande luchtstroom naar een meer geleide emissie (zie Figuur B4.2). De lengte van het opzetstuk moet gelijk zijn aan minstens 6 keer de diameter van dit opzetstuk. In het opzetstuk wordt een meetopening aangebracht, zodanig dat zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts van deze opening de lengte van de leiding/het gedeelte van het opzetstuk gelijk is aan minstens drie keer de diameter. Ter hoogte van deze meetopening wordt een snelheidsmeting uitgevoerd met behulp van een gekalibreerde vleugelradanemometer of hittedraadanemometer. Bij de uitvoering van de meting dient windinslag vermeden te worden (vandaar ook de voorwaarde voor het gebruik van een voldoende lang opzetstuk).

De gassnelheid in de leiding dient voldoende hoog te zijn om gemeten te kunnen worden met een gekalibreerde vleugelradanemometer (vanaf 0,5 m/s) of een hittedraadanemometer (vanaf 0,3 m/s). Om de opbouw van tegendruk onder de monsternamekap en het ontstaan van lekken te vermijden, mag de snelheid in het opzetstuk echter niet meer dan 3 m/s bedragen.

Om ter hoogte van het biobedoppervlak een goede afdichting te verkrijgen en lekken te vermijden, dient de monsternemingskap voorzien te worden van flappen (zie Figuur B4.2).

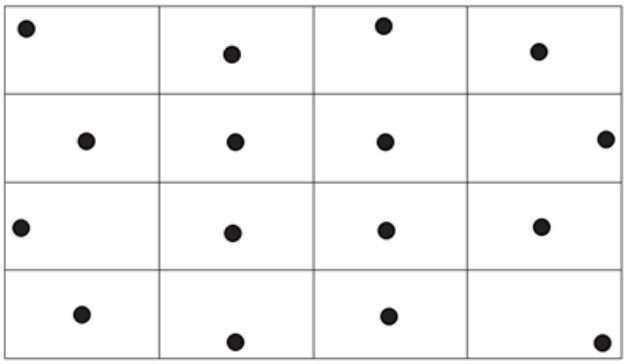
Voor het uitvoeren van de homogeniteitscontrole wordt het biobed verdeeld in een aantal cellen van gelijke grootte die gelijkmatig verdeeld zijn over het biobedoppervlak (zie Figuur B4.3). Binnen iedere cel wordt de monsternamekap op één plaats gezet voor de uitvoering van de debietsmetingen. De monsternamekap wordt hierbij zodanig geplaatst dat ook de hoeken en de randen van het biobed mee in rekening gebracht worden.

[1] https://reflabos.vito.be/2023/LUC_VII_001.pdf



Figuur B4.2 Schematische weergave monsternamekap (gebaseerd op VDI 3880 en EN 13725).

Het minimumaantal te beschouwen cellen in functie van het totale biobedoppervlak wordt weergegeven in Tabel B4.1. Naast de bepalingen uit de norm, wordt als richtlijn meegegeven dat in minimaal 25% van de cellen een hoek- of randmeting wordt uitgevoerd.



Figuur B4.3 *Voorbeeld verdeling van de meetlocaties voor debietsbepaling over het biobedoppervlak (punten op de rand/hoek moeten mee in rekening gebracht worden).*

Tabel B4.1 *Minimum aantal meetpunten in functie van het oppervlak van het biobed.*

Oppervlakte van het biobed	Min. aantal meetpunten voor debietsbepaling
< 100 m²	10
100-2000 m²	9 + 1 per 100 m²
> 2000 m²	30

Eventuele verschillen in de opgemeten snelheid of het opgemeten debiet, geven informatie over het al dan niet homogeen zijn van het biobed. Wanneer de verhouding tussen de maximale gemeten snelheid/het maximale debiet enerzijds en de minimale gemeten snelheid/het minimale debiet anderzijds kleiner is dan een factor twee, wordt het biobed als homogeen emitterende bron beschouwd en wordt het dus als bemeetbaar beschouwd.

B5 Meetstrategie

B5.1 Uitgangspunten

Het verwijderingsrendement kan bepaald worden op basis van zowel continue meetsystemen (analyzers, sensoren) als discontinue meetsystemen. Het continu meten wordt aanbevolen maar discontinu meten is ook mogelijk om redenen die in het toelichtend kader hieronder worden beschreven.

Toelichtend kader: zowel continu als discontinu meten mogelijk

Concentraties van geur kunnen alleen discontinu worden gemeten: door monstername van lucht in zakken gevolgd door olfactometrie in een geurlab. Concentraties van (fijn)stof kunnen eveneens alleen discontinu worden gemeten. Er bestaan continue meetmethoden (bijvoorbeeld op basis van lichtverstrooiing), maar deze zijn niet langdurig continu inzetbaar omdat deze bij de hoge stofbelasting in stallen te snel vervuilen en afwijkend kunnen gaan meten of in storing gaan. In de zeer vochtige lucht uit luchtwassers, biobedden, warmtewisselaars en mestdroogtunnels kan een stofmeetmethode op basis van lichtverstrooiing niet zonder meer worden ingezet omdat stofdeeltjes een waterschilletje om zich heen krijgen dat interfereert met de lichtverstrooiingsmeetmethode. Een methode waarbij de deeltjes groter dan een doeldiameter (aerodynamische diameter) van bijvoorbeeld 10 µm (PM_{10}) worden afgescheiden (bijvoorbeeld in een impactor of cycloon) voordat de daadwerkelijke meting plaatsvindt is eveneens gevoelig voor verstoring door het waterschilletje rond de deeltjes. Boven ongeveer 80% relatieve luchtvochtigheid kunnen deeltjes ten gevolge van het waterschilletje factoren groeien in diameter en massa waardoor gegroeide deeltjes ten onrechte worden afgescheiden. De lucht moet dan eerst licht verwarmd worden om de relatieve luchtvochtigheid te verlagen tot onder 80% vóórdat de lucht de voorafscheider en/of meetcel (bij een lichtverstrooiingsmethode) bereikt. Bij de gravimetrische methode voor inhaleerbaar stof, totaalstof en total suspended particles (TSP) speelt dit probleem niet omdat deze methoden geen voorafscheiding hebben. Concentraties van ammoniak kunnen zowel continu (analyzers, sensoren) als discontinu (natchemische methode; discontinue toepassing van continu metende instrumenten) worden gemeten.

Concentraties van ammoniak mogen ook discontinu worden gemeten omdat:
- het luchtzuiveringssysteem is een technische installatie dat weinig interactie kent met het veehouderijsysteem daarvoor/daaromheen (rantsoen, klimaat, enzovoort);
- er bij luchtwassers, naast de metingen leidend tot het verwijderingsrendement, ook operationele parameters moeten worden gemeten, gelogd en gerapporteerd in het meetrapport (pH, EC, de spuiwaterproductie, drukval, het elektriciteitsverbruik van de waswaterpomp, het waswaterdebiet). Deze geven voor een deel borging van de juiste werking van de luchtwasser;
- in sommige gevallen continu meten met een (sensor)meetsysteem technisch onmogelijk is. Bijvoorbeeld bij biobedden waarvan het oppervlak regelmatig wordt besproeid met water. Het is ongewenst om een sensor boven het biobed regelmatig aan water bloot te stellen;
- bij luchtwassers en biobedden met een groot uittredend oppervlak er veel sensoren nodig zijn om te voorzien in voldoende meetpunten. Het is dan praktischer om op deze punten lucht te bemonsteren via aanzuigslangen die bijeenkomen in een verzamelleiding die de lucht naar de monsternamemethode (wasflessen) of meetmethode (sensor, analyzer) voert. Het transporteren van vochtige en relatief warme lucht door aanzuigslangen zonder verwarming en isolatie kan tot condensvorming in de slangen leiden. Bij monstername in wasflessen is dat niet een probleem (de ammoniak komt uiteindelijk wel in de wasflessen). Echter, bij een continue meting met een sensor of analyzer is 24/7 verwarming van de slangen nodig. Dit is onpraktisch en kostbaar;
- in de uitgaande (gereinigde) lucht van luchtwassers en biobedden soms lage concentraties kunnen voorkomen die de kwantificatielimiet van het continue meetsysteem onderschrijden. Bij de inzet van een

continu meetsysteem moet dan voor die meetwaarde de kwantificatielimiet van het meetsysteem als de meetwaarde genomen worden. Er kunnen redenen bestaan om toch de werkelijke, lage concentratie accuraat te bepalen en op te nemen in de dataset. Dan is men aangewezen op een discontinue meting met een zeer lage kwantificatielimiet, zoals de natchemische methode.

B5.2 Discontinue metingen

Er moeten minimaal 12 discontinue metingen uitgevoerd worden per locatie, verspreid over een jaar, met een tussenperiode van maximaal een maand ± 3 dagen. Tussen de eerste en de laatste meetdag moeten minimaal 11 maanden zitten zodat seizoens- en ronde-effecten opgenomen zijn in de metingen.

De duur van bemonstering is afhankelijk van de component. Ze bedraagt 24 uur voor ammoniak en tenminste één uur voor geur (zie respectievelijk paragrafen A7.2 en A7.3).

Meer metingen op dezelfde onderzoekslocatie zijn toegelaten, bijvoorbeeld om het bereik aan debieten/EBRT te vergroten. In Vlaanderen moeten wijzigingen van meetdagen worden gemeld zoals beschreven in het Ministerieel Besluit. Alle data moeten worden gerapporteerd.

Op basis van de **discontinue metingen** wordt een **doorlopende dataset samengesteld op dagniveau**, bestaande uit een minimale periode van één jaar, op basis van de volgende werkwijze (zie ook hoofdstuk B8):

- *meetstrategie*: na de eerste meting wordt het meetschema consequent door gepland met elke volgende meting maximaal een maand later ± 3 dagen;
- *voor een meetdag de meetwaarde gebruiken*: voor de dagen waarop een meting van de concentratie in de ingaande en de uitgaande luchtstroom is uitgevoerd, wordt de emissie op basis van de concentratie in de ingaande luchtstroom (alsof was er geen luchtzuiveringssysteem) en de uitgaande luchtstroom, alsook het verwijderingsrendement, in de dataset opgenomen;
- *lineair interpoleren tussen meetdagen*: voor de dagen tussen de meetdagen in, wordt de emissie van de ingaande lucht (alsof was er geen luchtzuiveringssysteem) en van de uitgaande lucht, lineair geïnterpoleerd. Op basis van de lineair geïnterpoleerde emissies op dagniveau wordt het verwijderingsrendement voor elke dag berekend en opgenomen in de dataset;
- *werkwijze bij storingen*: op dagen dat het nageschakelde luchtzuiveringssysteem buiten werking of in storing is wordt voor de dagen sinds de laatste meetdag tot en met de laatste dag van het buiten werking of in storing zijn, de emissie op basis van de ingaande lucht van de laatste meetdag opgenomen in de dataset. Op de dagen van het buiten werking of in storing zijn, wordt de emissie op basis van de uitgaande lucht gelijk gesteld aan de emissie op basis van de ingaande lucht en bedraagt het verwijderingsrendement nul procent. Tussen het in werking treden of niet meer gestoord functioneren en de eerstvolgende meetdag wordt de emissie op basis van de ingaande lucht en de emissie op basis van de uitgaande lucht (die tijdens de periode van buiten werking of in storing zijn aan elkaar gelijk zijn) lineair geïnterpoleerd tussen de waarden voor de storingsperiode en de waarden van de eerstvolgende meetdag. Op basis van de lineair geïnterpoleerde emissies op dagniveau wordt het verwijderingsrendement voor elke dag berekend en opgenomen in de dataset.

B5.3 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’. De validatie moet uitgevoerd zijn in de te verwachten concentratieranges, ook rekening houdend met de laagst voorkomende concentratieniveaus zoals voor kunnen komen in de uitgaande (gereinigde) lucht (zie Tabel 1 in deel D). In de uitgaande (gereinigde) lucht van luchtwassers en biobedden kunnen soms lage concentraties voorkomen die de kwantificatielimiet van het continue meetsysteem onderschrijden. Bij de

inzet van een continu meetsysteem moet dan voor die meetwaarde de kwantificatielimiet van het meetsysteem als de meetwaarde genomen worden.

Naast de continue metingen met de gevalideerde (sensor)meetmethode worden er op regelmatige tijdstippen discontinue metingen met de SRM of een EM uitgevoerd als frequente controle van de continue (sensor)meetmethode en om een gepaarde dataset te verkrijgen van het continue (sensor)meetsysteem en de SRM/EM waarmee de gebruikte correctie van het continue (sensor)meetsysteem naar de SRM geverifieerd kan worden of specifiek vastgesteld kan worden voor de meetcampagne in kwestie. Indien van toepassing, wordt een correctie doorgevoerd (zie B8.3 Controle van afwijkingen (o.a. drift) bij continue meetsystemen).

Wat de uitgaande lucht betreft, volstaat 1 SRM validatie per sensor. De frequentie waarmee de SRM metingen moeten worden uitgevoerd bedraagt minimaal 1 maal per twee maanden of meer indien dit nodig blijkt op basis van het validatiedossier van het gebruikte meetsysteem. Indien gewerkt wordt met 1 analyzer in combinatie met een meetpuntomschakelaar die schakelt tussen verschillende kanalen (drukkamer en verschillende meetpunten aan de uitlaat), dan wordt de meetpositie(s) van de analyzer tijdens de duur van de SRM beperkt tot de locaties waar de monstername van de SRM gebeurt.

B5.4 Meetposities luchtwassers en biobedden

B5.4.1 Ingaande luchtstroom

De meting in of monstername van de ingaande luchtstroom van het luchtzuiveringssysteem gebeurt op één van drie posities:

- in de stalruimte, op de positie(s) waar de stallucht de stalruimte verlaat naar het luchtzuiveringssysteem, bijvoorbeeld vlak voor ventilatoren in een afscheiding tussen de stalruimte met dieren en drukkamer (deze situatie komt vaak voor in stallen voor vleeskuikens, leghennen en vleeskalveren met één grote dierruimte);
- aan het einde van een centraal luchtkanaal (waarmee ook bedoeld wordt een zolder boven afdelingen) dat lucht aanzuigt uit individuele afdelingen (stalruimtes) met dieren, nog voordat het centrale luchtkanaal overgaat in een drukkamer en het luchtzuiveringssysteem (deze situatie komt vaak voor in stallen voor varkens);
- in de drukkamer vóór het luchtzuiveringssysteem.

Het is niet toegestaan om de meting of monstername te positioneren in de luchtstromen van meerdere afdelingen naar een centraal luchtkanaal om vervolgens de concentratie van het ingaande luchtzuiveringssysteem te berekenen als het naar het ventilatiedebiet van afdelingen gewogen concentratiegemiddelde. Deze methode kan dienen als controlemethodiek (tweede methodiek) voor een primaire methodiek volgens de hierboven genoemde drie bullets, maar niet zelf als primaire methodiek.

Wanneer een drukkamer lucht ontvangt vanuit één luchtstroom, bijvoorbeeld uit één centraal kanaal of één of enkele ventilatoren vanuit dezelfde stalruimte naar de drukkamer, mag worden verondersteld dat concentraties in de drukkamer homogeen zijn en volstaat één meet- of monsternamepositie in het ruimtelijke centrum van de drukkamer.

Wanneer een drukkamer lucht ontvangt vanuit meerdere luchtstromen met (mogelijk) verschillende concentraties (zoals bij meerdere stallen die lucht leveren aan één drukkamer) mogen concentraties niet als homogeen worden verondersteld. De meting of monstername moet dan gelijktijdig op minimaal drie plaatsen verspreid in de drukkamer worden uitgevoerd. Bij monstername mogen de drie monsters worden samengevoegd via een verdeelstuk. Er moet hierbij voor gezorgd worden dat de debieten doorheen de verschillende aanzuigleidingen naar het verdeelstuk onderling maximaal 20% verschillen. Er moet aangetoond te worden dat het gebruikte verdeelsysteem voldoet aan dit criterium.

B5.4.2 Uitgaande luchtstroom

Bij monstername van de uitgaande luchtstroom moet voorafgaand aan de meetcampagne verzekerd worden dat er geen condens kan optreden in de volledige monsternametrein.

Voor het meten of bemonsteren van **ammoniak** in de uitgaande luchtstroom van luchtwassers en biobedden worden ofwel minimaal zes posities bemeten of bemonsterd, gelijkmatig verdeeld over het totaal emitterend oppervlak, ofwel minimaal 10% van het totaal emitterend oppervlak, eveneens gelijkmatig verdeeld over het totaal emitterend oppervlak.

De bemonstering van **geur** gebeurt volgens de omschrijving in de norm EN 13725. Aan de uitstroom van het luchtreinigingssysteem gebeurt dit door het volledig of gedeeltelijk afdekken/overkappen van het oppervlak en het bemonsteren van het geurstaal ter hoogte van een in de afkapping aangebrachte opening of schouw. Wat betreft de afkapping, kan gekozen worden uit volgende methodes die weergegeven worden in volgorde van prioriteit van toepassing:

- volledige afdekking van het luchtreinigingssysteem (preferentiële methode, indien mogelijk);
- gedeeltelijke afdekking van deeloppervlakken van het luchtreinigingssysteem. Hierbij wordt minstens 25% van het oppervlak bemonsterd;
- gebruik van een monsternamekap (minimaal 1 m^2). Het oppervlak wordt verdeeld in een aantal cellen van gelijke grootte die gelijkmatig verdeeld zijn over het oppervlak. Tijdens de meting wordt de monsternamekap achtereenvolgens op de verschillende cellen/deelvlakken geplaatst. Binnen iedere cel wordt de monsternamekap op één plaats gezet voor het bemonsteren van een (deel)staal. In totaal wordt minstens 10% van het oppervlak bemonsterd.

De methode wordt gekozen in functie van de grootte en de bereikbaarheid van het luchtreinigingssysteem.

B5.4.3 Controle van windinslag bij de staalnamepunten in de uitgaande luchtstroom van het luchtzuiveringssysteem

Windinslag bij staalname in de uitgaande luchtstroom van het luchtreinigingssysteem moet te allen tijde vermeden worden. Indien dit wel zou optreden, dan zou de gemeten uitgaande concentratie onderschat worden en het berekende verwijderingsrendement daardoor overschat (Maertens et al., 2023). Om zeker te stellen dat er geen windinslag heeft plaatsgevonden moet daarom de CO_2-concentratie in zowel de ingaande als uitgaande luchtstroom gemeten en met elkaar vergeleken worden, gelijktijdig en op dezelfde meet-/monsternameposities als de concentratiemetingen van de componenten waarvoor het verwijderingsrendement wordt bepaald. De CO_2-concentratie wordt verwacht beperkt beïnvloed te worden door het luchtzuiveringssysteem. Als de CO_2-concentratie in de uitgaande lucht significant lager is dan in de ingaande lucht, is er mogelijks sprake van inmenging van verse buitenlucht.

Voor l**uchtwassers en biobedden** worden de volgende criteria gehanteerd:

1. CO_2-concentratie ingaand ≤ 1500 ppm => $C_{ingaand} - C_{uitgaand} \leq 100$ ppm;
2. CO_2-concentratie ingaand tussen 1500 en 3000 ppm => $C_{ingaand} - C_{uitgaand} \leq 200$ ppm;
3. CO_2-concentratie ingaand ≥ 3000 ppm => $C_{ingaand} - C_{uitgaand} \leq 300$ ppm;

Met:

- $C_{ingaand}$ = de CO_2-concentratie in de ingaande luchtstroom in ppm
- $C_{uitgaand}$ = de CO_2-concentratie in de uitgaande luchtstroom in ppm

De maximaal toegelaten verschillen bedragen 10% van respectievelijk 1000 ppm, 2000 ppm en 3000 ppm. Er moet een meetmethode worden gebruikt die het verschil van 100 ppm met voldoende nauwkeurigheid kan meten. De herhaalbaarheid (precisie) van de gebruikte sensoren mag op het niveau van 1000 ppm niet hoger zijn dan 20 ppm (2% relatief).

Deze methode heeft haar beperkingen aangezien naast windinslag ook andere factoren van invloed kunnen zijn zoals bijvoorbeeld de productie van CO_2 door biologische processen en de invloed van de zuurgraad (pH) van het waswater op de oplosbaarheid van CO_2 daarin. Bij het overschrijden van de maximaal gestelde verschillen moet dit toegelicht en beargumenteerd worden in het meetrapport. De argumentatie om het

gemeten rendement al dan niet mee te nemen in de berekening van het verwijderingsrendement moet opgenomen worden in het meetrapport.

In de hoofdtypen nageschakelde luchtzuiveringssystemen die alleen stof uit de luchtstroom verwijderen (**droogfilters**, **ionisatiesystemen**, **warmtewisselaars** en **mestdroogtunnels**) wordt niet of nauwelijks CO_2 geproduceerd. De CO_2-concentraties in de ingaande en uitgaande luchtstroom mogen gemiddeld over 24 uur maximaal 5% van elkaar verschillen.

B6 Meetmethoden ventilatiedebiet

Voor de bepaling van het verwijderingsrendement is het van belang om zowel condities van minimum als maximum ventilatie te testen. De bepaling van het ventilatiedebiet is noodzakelijk om de minimale EBRT te bepalen waarbij de metingen zijn uitgevoerd.

Voor het meten van het ventilatiedebiet zijn de volgende methoden toegestaan:
1. Meetwaaiers (referentiemethode; aanbevolen);
2. Ventilatoren met registratie;
3. Tracergas ratiomethode (mits gevalideerd aan 1.).

Voor een omschrijving van deze methoden wordt verwezen naar respectievelijk paragrafen A6.2, A6.3 en A6.4 van het onderhavige rapport.

Als er geen geschikte meetwaaiers beschikbaar zijn omwille van de diameter van de koker van de ventilator, kan er overgegaan worden tot een alternatieve methode die beschreven en onderbouwd moet worden in het meetplan. Daarbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan:

4. Ultrasone sensoren verspreid over de doorsnede van de drukkamer, of;
5. Pitotbuizen (zie ook EN 15259 en compendiummethode LUC/0/001).

Bij methode 5. moet er voldaan worden aan de vier voorwaarden voor homogene stroming zoals beschreven in paragraaf 6.2.1. c (Measurement section and measurement plane) van de EN 15259. Deze vier voorwaarden stellen dat in ieder meetpunt van het meetvlak aan onderstaande vereisten moet voldaan zijn:
- de richting van de gasstroom ten opzichte van de lengteas van het gaskanaal moet kleiner zijn dan 15°;
- er mogen geen lokale negatieve gassnelheden bestaan;
- er moet een minimum gassnelheid bestaan afhankelijk van de meetmethode voor volumedebiet:
  - bij gebruik van pitotbuizen moet de differentieeldruk groter dan 5 Pa zijn;
  - bij gebruik van vleugelradanemometers moet de snelheid groter dan 0,5 m/s zijn;
- de verhouding tussen de maximale en minimale gemeten gassnelheid moet kleiner zijn dan 3.

B7 Meetmethoden luchtconcentraties

Bij nageschakelde luchtzuiveringssystemen kan er een verwijderingsrendement aan de orde zijn voor ammoniak (NH_3), geur, grof stof (inhaleerbaar stof, totaalstof of Total Suspended Particles) en/of fijnstof (PM_{10} en $PM_{2,5}$). Daarnaast kan er in sommige systemen lachgas (N_2O) worden geproduceerd. Concentraties van koolstofdioxide (CO_2) moeten worden gemeten in de ingaande en uitgaande luchtstroom van het luchtzuiveringssysteem als controle op ongewenste windinslag.

In hoofdstuk A7 van het onderhavige rapport zijn de Standaard Referentie Methoden (SRM) voor bovengenoemde emissiecomponenten beschreven.

B8 Dataverwerking en analyse

B8.1 Controle op volledigheid

De controle op volledigheid omvat het toetsen van de werkelijke hoeveelheid binnengekomen data aan de verwachte hoeveelheid binnen te krijgen data op basis van de meetfrequentie voor elk van de operationele variabelen en de verklaring van eventuele afwijkingen.

Voor zowel de operationele variabelen (paragraaf B3.2) als voor metingen van emissiecomponenten (ammoniak, geur, stof, CO_2) op de in - en uitgaande luchtstroom van het luchtzuiveringssysteem, moet worden gecontroleerd of de data van deze variabelen daadwerkelijk werd opgenomen volgens de gespecifieerde meetfrequentie en binnen de periode tussen de eerste (inclusief) en laatste meetdag (inclusief) van de meetcampagne.

Als er meetdata ontbreken (niet binnen gekomen data, nulwaarden, lege waarden, andere indicatoren van ontbrekende data) moet zowel de periode waarin de meetdata ontbreken als de reden waarom de meetdata ontbreken worden gerapporteerd, en dit voor elk van de individuele variabelen. Het tijdspercentage waar data werd verkregen, moet worden gerapporteerd.

De verschillende gegevensstromen van de variabelen moeten worden gesynchroniseerd, zodat een duidelijk overzicht kan worden verkregen van de operationele status van het systeem op specifieke tijdstippen in de aangeleverde dataset.

B8.2 Controle op kwaliteit – exclusie van data

Alle meetresultaten worden opgenomen in de verdere berekeningen en rapportage, met uitzondering van:

- meetdata die door technische storingen onbruikbaar zijn;
- meetdata die door menselijke fouten onbruikbaar zijn;
- meetdata die door niet gekalibreerde en/of niet gevalideerde meetprocedures werden verkregen;
- meetdata die werden verkregen door continue meetapparatuur waarbij een te grote mate van drift optrad (Zie paragraaf B8.3);
- meetdata die als incorrect wordt geïdentificeerd, in die zin dat het waarden betreft die met zekerheid (argumentatie is verplicht) als incorrect moeten worden beschouwd en om die reden worden geëxcludeerd van de dataset.

De verkregen data moet worden gecontroleerd op verdachte waarden. Deze controle kan worden uitgevoerd door bijvoorbeeld:

- het vergelijken van meetdata uit een duplo meting (bijvoorbeeld als er twee of drie naast elkaar geplaatste sensoren worden ingezet) of bemonstering;
- onmogelijke waarden (zoals extreem hoge of negatieve waarden) die met zekerheid als incorrect moeten worden beschouwd;
- waarden die sterk afwijken van voorgaande waarden terwijl dat (op basis van de bekende autocorrelatie voor die variabele) niet verwacht wordt;
- waarden te toetsen aan relaties tussen grootheden die een vooraf voorspelbare relatie moeten opleveren en waarin verdachte of evident onjuiste waarden buiten deze relatie opvallen;
- een uitbijtertoets moet worden toegepast om verdachte waarden op te sporen. Voor continue metingen kan een uitbijtertoets 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 opgelijst en onderworpen aan een verdere 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 en analyse wanneer deze aantoonbaar het gevolg zijn van technische storingen of menselijke fouten in de metingen en/of verdere processtappen of wanneer deze met zekerheid als incorrect moeten worden beschouwd.

Meetgegevens van technisch geslaagde metingen tijdens een periode met aantoonbare afwijkingen (inclusief downtime) van de vooropgestelde operationele condities waarbinnen het verwijderingsrendement van het luchtzuiveringssysteem wordt bepaald, worden wel opgenomen in de berekeningen en de rapportage. De invloed van deze metingen op het eindresultaat wordt gekwantificeerd door het presenteren van eindresultaten met en zonder deze perioden, en vormt het onderwerp van evaluatie van het meetrapport. Van dergelijke metingen worden nauwkeurig volgende zaken aangegeven: de tijdsperiode, aard, oorzaak en verwacht effect van het niet of minder goed werken van het luchtzuiveringssysteem. Tijdens de meetcampagne mogen echter geen fundamentele wijzigingen aan de installatie (Zie paragraaf B3.2 systeembeschrijving, met inbegrip van sturing) en de operationele variabelen (Zie paragrafen B3.2.1 t/m B3.2.6) worden aangebracht, zodat steeds een representatief beeld wordt verkregen van de performantie van het luchtzuiveringssysteem.

Voor de meetgegevens die dienen uitgesloten te worden op basis van de hierboven opgesomde criteria dient zowel de periode waarin de meetdata weggelaten werden als de reden waarom de meetdata weggelaten werden te worden beargumenteerd en gerapporteerd, en dit voor elk van de individuele variabelen. Het tijdspercentage waar betrouwbare metingen (de weerhouden data) konden worden verkregen dient te worden gerapporteerd en moet tenminste 80% van de effectieve onderzoeksperiode beslaan (exclusief leegstandperioden of downtime van het luchtzuiveringssysteem, waarbij seizoens- en ronde-effecten nog steeds voldoende worden afgedekt).

B8.3 Controle op afwijkingen door drift bij continue meetsystemen - toepassing van correcties

Continue meetsystemen voor ammoniak worden conform paragraaf B5.3met een passende frequentie gecontroleerd ten opzichte van de SRM-methode of een methode equivalent aan de SRM-methode (EM). De frequentie bedraagt minimaal zesmaal per jaar of meer indien dit nodig blijkt op basis van het validatiedossier (dient meegeleverd te worden in het dossier, hoofdstuk B9) van het gebruikte meetsysteem. De hierbij vastgestelde afwijking wordt opgevolgd en geëvalueerd.

De afwijking van het continue meetsysteem ten opzichte van de SRM of EM wordt berekend op basis van de daggemiddelde waarden (beide metingen omvatten dezelfde 24h-tijdsperiode) van zowel het continue meetsysteem als de SRM-metingen (gemiddelde van de duplo's), als volgt:

$$afwijking\ (\%) = \frac{(C_{SRM} - C_{continue})}{C_{SRM}} x\ 100\% \qquad \text{(B3)}$$

Met:

- C_{SRM} = gemiddelde ammoniakconcentratie gemeten met de SRM of een equivalente methode ter vervanging van de SRM (gemiddelde van de duplowaarden)
- $C_{continue}$ = gemiddelde ammoniakconcentratie gemeten met de continue methode gedurende de uitvoering van de SRM meting. De 24h-tijdsvensters moeten overeen komen

De criteria ten aanzien van de afwijking zijn:

- als de procentuele afwijking tussen 0 en 10% ligt wordt er geen correctie uitgevoerd;

- als de procentuele afwijking tussen 10% en 20% ligt moet er een, in de tijd lineaire, correctie doorgevoerd te worden op de concentraties gemeten met de continue meetmethode tussen het tijdstip van de SRM-meting en de voorgaande SRM-meting;
- als een procentuele afwijking meer dan 20% bedraagt is dit een indicatie van een falend continu meetsysteem dat geen correctie toelaat. In dit geval moeten de meetwaarden tussen het tijdstip van de SRM-meting en de voorgaande SRM-meting verworpen worden. De SRM-meting kan in dit geval opgenomen worden in de dataset van de continue metingen; Een afwijking op het verwerpen van de volledige bovengenoemde meetperiode is toegestaan als de meetinstantie kan aantonen op welke datum of op welk tijdstip het continue meetsysteem in storing is gegaan. De data vóór het falen kunnen dan wel nog bruikbaar zijn.

Vanaf 10% afwijking dient actie ondernomen te worden om ervoor te zorgen dat opnieuw voldoende betrouwbaar kan worden gemeten.

Bijkomend wordt er ook een criterium opgenomen voor de maximale toegelaten cumulatieve drift (Dc). Cumulatieve drift is de som van de verschillende driften vastgesteld bij de SRM/EM controlemetingen. Voor de berekening van deze cumulatieve drift worden enkel die driftwaarden meegeteld waarvoor gecorrigeerd werd en die dus hoger waren dan 10%. Positieve en negatieve driftwaarden kunnen elkaar hierbij compenseren. Als de cumulatieve drift van het continue meetsysteem op een gegeven moment (bij een volgende vergelijkende controle ten opzichte van de SRM/EM) meer dan 30% bedraagt, moet het meetsysteem voor onderhoud nagekeken worden of vervangen worden door een ander systeem. De cumulatieve drift moet, voor elk gebruikt continu meetsysteem, berekend worden na elke SRM/EM controlemeting. Wanneer de cumulatieve drift meer dan 30% bedraagt, kan de data alleen gebruikt worden, als de drift tussen laatste opeenvolgende SRM metingen lager is dan 20%. Hierbij wordt onverminderd in acht genomen dat er tussen 10 en 20% een in de tijd lineaire correctie moet worden doorgevoerd op de concentraties gemeten met de continue methode tussen het tijdstip van de SRM/EM-meting en de voorgaande SRM/EM-meting.

Enkel in uitzonderlijke gevallen (bijvoorbeeld bij heel lage ingaande concentraties) en mits grondige motivatie kan de meetinstantie afwijken van bovenstaande richtlijnen. Dit dient duidelijk in het meetrapport opgenomen te worden.

B8.4 Data-aggregatie

Bij continue meetdata en operationele variabelen moeten data geaggregeerd worden tot gemiddelden op dagniveau en uurniveau waarbij tenminste van 80% van de tijd valide meetdata verkregen is.

Bij discontinue metingen (alle componenten) worden meetdata gemiddeld op dagniveau over het aantal herhalingen (doorgaans duplo's, waarbij het procentuele verschil tussen beide duplometingen dient te worden vermeld en getoetst aan de kwaliteitssystemen van de meetinstantie).

B8.5 Berekening van emissies en verwijderingsrendement

B8.5.1 Opstellen continue dataset bij discontinue metingen

Op basis van de **discontinue metingen** wordt een **continue dataset samengesteld op dagniveau**, bestaande uit minimaal een jaar, op basis van de volgende werkwijze:

- *meetstrategie*: na de eerste meting wordt het meetschema consequent door gepland met elke volgende meting maximaal een maand later ± 3 dagen;
- *voor een meetdag de meetwaarde gebruiken*: voor de dagen waarop een meting van de concentratie in de ingaande en de uitgaande luchtstroom is uitgevoerd, wordt de emissie op basis van de concentratie in de ingaande luchtstroom (alsof was er geen luchtzuiveringssysteem) en de uitgaande luchtstroom, alsook het verwijderingsrendement, in de dataset opgenomen;

- *lineair interpoleren tussen meetdagen*: voor de dagen tussen de meetdagen in, wordt de emissie van de ingaande lucht (alsof was er geen luchtzuiveringssysteem) en van de uitgaande lucht, lineair geïnterpoleerd. Op basis van de lineair geïnterpoleerde emissies op dagniveau wordt het verwijderingsrendement voor elke dag berekend en opgenomen in de dataset;
- *werkwijze bij storingen*: op dagen dat het nageschakelde luchtzuiveringssysteem buiten werking of in storing is wordt voor de dagen sinds de laatste meetdag tot en met de laatste dag van het buiten werking of in storing zijn, de emissie op basis van de ingaande lucht van de laatste meetdag opgenomen in de dataset. Op de dagen van het buiten werking of in storing zijn, wordt de emissie op basis van de uitgaande lucht gelijk gesteld aan de emissie op basis van de ingaande lucht en bedraagt het verwijderingsrendement dus nul procent. Tussen het in werking treden of niet meer gestoord functioneren en de eerstvolgende meetdag wordt de emissie op basis van de ingaande lucht en de emissie op basis van de uitgaande lucht (die tijdens de periode van buiten werking of in storing zijn aan elkaar gelijk zijn) lineair geïnterpoleerd tussen de waarden van de storingsperiode en de waarden van de eerstvolgende meetdag. Op basis van de lineair geïnterpoleerde emissies op dagniveau wordt het verwijderingsrendement voor elke dag berekend en opgenomen in de dataset.

B8.5.2 Berekenen verwijderingsrendement (ammoniak, geur, stof)

Overal waar in deze paragraaf het woord 'gemiddelde' wordt gebruikt wordt het rekenkundig gemiddelde bedoeld.

Per onderzoekslocatie k en dag i (24 uur) worden berekend:

- E_in_{jk} = de daggemiddelde emissie vóór het nageschakelde luchtzuiveringssysteem. Dat wil zeggen: de (theoretische) emissie die zou zijn opgetreden als er geen nageschakeld luchtzuiveringssysteem zou zijn geweest. Dit wordt voor een meetdag berekend als het 24-uursgemiddelde ventilatiedebiet door het nageschakelde luchtzuiveringssysteem vermenigvuldigd met de 24-uursgemiddelde concentratie in de ingaande luchtstroom van het nageschakelde luchtzuiveringssysteem;
- E_uit_{jk} = de daggemiddelde emissie ná het nageschakelde luchtzuiveringssysteem. Dit wordt voor een meetdag berekend als het 24-uursgemiddelde ventilatiedebiet door het nageschakelde luchtzuiveringssysteem vermenigvuldigd met de 24-uursgemiddelde concentratie in de uitgaande luchtstroom van het nageschakelde luchtzuiveringssysteem;
- VR_{jk} = het daggemiddelde verwijderingsrendement, berekend als:

$$VR_{jk} = \frac{E_in_{jk} - E_uit_{jk}}{E_in_{jk}} \times 100\% \qquad \text{(B4)}$$

Met:

- VR_{jk} = het verwijderingsrendement op dag j binnen onderzoekslocatie k in procenten
- E_in_{jk} = de gemiddelde emissie vóór het nageschakelde luchtzuiveringssysteem op dag j binnen onderzoekslocatie k
- E_uit_{jk} = de gemiddelde emissie ná het nageschakelde luchtzuiveringssysteem op dag j binnen onderzoekslocatie k

Het verwijderingsrendement wordt over de gehele meetcampagne per onderzoekslocatie berekend als:

$$\overline{VR}_k = \frac{\overline{E_in}_k - \overline{E_uit}_k}{\overline{E_in}_k} \times 100\% \qquad \text{(B5)}$$

Met:

- $\overline{VR}_k$ = het gemiddelde verwijderingsrendement van onderzoekslocatie k in procenten
- $\overline{E_in}_k$ = de gemiddelde emissie vóór het nageschakelde luchtzuiveringssysteem in onderzoekslocatie k
- $\overline{E_uit}_k$ = de gemiddelde emissie ná het nageschakelde luchtzuiveringssysteem in onderzoekslocatie k

Merk op dat het verwijderingsrendement per onderzoekslocatie wordt berekend over de daggemiddelde emissies vóór en ná het luchtzuiveringssysteem in plaats van het over de daggemiddelde verwijderingsrendementen. De laatstgenoemde optie heeft als nadeel dat hoge verwijderingsrendementen bij lage emissieniveaus onevenredig zwaar kunnen wegen in het verwijderingsrendement van de onderzoekslocatie. Evenzo kunnen lage verwijderingsrendementen bij hoge emissieniveaus onevenredig licht wegen in het verwijderingsrendement van de onderzoekslocaties. Door het verwijderingsrendement te

baseren op emissies wordt het verwijderingsrendement op de meest zuivere manier bepaald. Deze werkwijze is consistent met de werkwijze voor de berekening van de emissiereductie voor een interventie (huisvestingssysteem, staltechniek of managementmaatregel) in paragraaf A8.3.

Het **overall verwijderingsrendement over de gehele meetcampagne en alle onderzoekslocaties** wordt berekend als het gemiddelde van de locatiegemiddelde verwijderingsrendementen:

$$\overline{VR} = \frac{\sum_{k=1}^{n}(\overline{VR}_k)}{n} \qquad \text{(B6)}$$

Met:

- $\overline{VR}$ = het verwijderingsrendement uit de gehele meetcampagne
- $\overline{VR}_k$ = het gemiddelde verwijderingsrendement in onderzoekslocatie k
- n = het aantal onderzoekslocaties (k = 1, …, n)

Van de daggemiddelde verwijderingsrendementen moeten per locatie de standaardafwijking, minimum en maximum worden berekend en gerapporteerd.

Voor het luchtzuiveringssysteem moet de totale uptime en downtime (beide in dagen) worden berekend en gerapporteerd, inclusief de nodige opstarttijd verbonden met het onderhoud (bijvoorbeeld reiniging, opschudden en vervangen opvulmateriaal).

B8.6 Data-analyse van relaties bij luchtwassers en biobedden

Voor de in de dataset geïncludeerde meetdata (paragraaf B8.1; B8.2) moeten enkele tijd plots en scatterplots met relaties tussen variabelen worden geanalyseerd en gerapporteerd. De volgende plots moeten worden opgenomen in het rapport.

Deze tijd plots en scatterplots worden gevraagd omdat een meetcampagne niet alleen een getal voor het verwijderingsrendement moet opleveren, maar ook moet tonen dat het gevonden verwijderingsrendement plausibel is door op beperkte schaal inzicht te geven in relaties (associaties) tussen variabelen van het luchtzuiveringssysteem.

Tijd plots van gemeten variabelen en operationele parameters over de duur van de meetcampagne; met 'Tijd (dag)' op de x-as en op de Y-as:

- het 24-uursgemiddelde ventilatiedebiet (m^3/uur);
- de 24-uursgemiddelde concentratie van de emissiecomponent(en) in kwestie (ppm voor ammoniak, OU_E/m^3 voor geur, mg/m^3 voor stof);
- de 24-uursgemiddelde ingaande en de 24-uursgemiddelde uitgaande emissie van de emissiecomponent(en) in kwestie als twee sets symbolen of twee lijnstukken in één plot;
- het 24-uursgemiddelde verwijderingsredendement (%);
- de 24-uursgemiddelde EBRT (seconden);
- de 24-uursgemiddelde drukval over de wasser (Pascal);
- de 24-uursgemiddelde zuurgraad (pH) van de wasvloeistof;
- de 24-uursgemiddelde geleidbaarheid (EC; mS/cm).

Vervolgens **alleen over de dagen dat er een SRM/EM meting werd uitgevoerd** (12 meetdagen bij een discontinue meetstrategie; 6 meetdagen waarop een controlemeting werd uitgevoerd bij gebruik van een continue meetstrategie met (sensor)meetsysteem:

Ventilatiedebiet
Scatterplots van het 24-uursgemiddelde ventilatiedebiet (m^3/uur) op de Y-as en op de x-as:

- de 24-uursgemiddelde buitentemperatuur (°C);
- de dag in ronde (per ronde weer te geven).

Verwijderingsrendement
Scatterplots van het 24-uursgemiddelde verwijderingsrendement van de emissiecomponent in kwestie (%) op de Y-as en op de x-as:

- de 24-uursgemiddelde ingaande concentratie (ppm voor ammoniak, OU_E/m^3 voor geur, mg/m^3 voor stof);
- de 24-uursgemiddelde ingaande emissie (kg ammoniak per dag);
- de 24-uursgemiddelde EBRT (seconden);
- de 24-uursgemiddelde drukval (Pascal) over de wasser;
- de 24-uursgemiddelde zuurgraad (pH) van de wasvloeistof;
- de 24-uursgemiddelde geleidbaarheid (EC; mS/cm) van het waswater.

Verwijderingsrendement – extra in geval van continue data
Scatterplots van:

- het 24-uursgemiddelde verwijderingsrendement van de emissiecomponent tegen dag in de ronde;
- het uurgemiddelde verwijderingsrendement van de emissiecomponent tegen uur in de dag;
- het uurgemiddelde verwijderingsrendement van de emissiecomponent tegen de uurgemiddelde EBRT.

B8.7 Bepalen meetonzekerheid

Meetinstanties bepalen de meetonzekerheid van elke toegepaste meetmethode en toetsen deze aan de waarden van de standaardmethoden of deze verkregen bij de validatie. Deze gegevens worden opgenomen in de rapportage.

B9 Rapportage

Omslag/titelpagina/colofon
Deze onderdelen vermelden:
- titel;
- eventueel: auteurs;
- maand en jaar van publicatie;
- de uitgever van de rapportage;
- eventueel: namen en handtekeningen van verantwoordelijken voor vrijgave van het onderzoek.

Het is niet verplicht namen van auteurs en namen van verantwoordelijken voor vrijgave van het onderzoek te vermelden. Binnen de meetinstantie moet een handtekeningsbevoegdheid bestaan en binnen de meetinstantie moet traceerbaar zijn wie welke rol in het onderzoek heeft gehad en wie tot de vrijgave heeft besloten.

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 het verwijderingsrendement voor ammoniak van een luchtzuiveringssysteem).

Beschrijving luchtzuiveringssysteem
In deze sectie wordt het luchtzuiveringssysteem gedetailleerd en volledig beschreven (zie paragraaf B3.2).

Beschrijving onderzoekslocaties
In deze sectie worden de onderzoekslocaties gedetailleerd en volledig beschreven (zie paragraaf A3.1). Dit onderdeel omvat een onderbouwing van de representativiteit van de meetlocatie voor de algemene praktijk in Nederland, Vlaanderen of beide.

Meetmethoden
Deze sectie omvat een opsomming van alle gemeten variabelen en de omschrijving van de gebruikte materialen en methoden voor de volgende onderdelen:
- homogeniteit (zie paragraaf B4.4.2);
- meetstrategie (zie paragraaf B5);
- meetmethoden ventilatiedebiet (zie paragraaf B6);
- meetmethoden luchtconcentraties (zie paragraaf B7);

De bepaling van de meetonzekerheid, horend bij elk van deze onderdelen, moet tevens worden opgenomen in de rapportage. Alle meettoestellen moeten worden vermeld en een volledig kalibratie- en validatierapport moet toegevoegd worden (eventueel als bronvermelding met hyperlink naar de documenten).

Dataverwerking en -analyse
Dit omvat hoe het geheel van zaken is uitgevoerd omschreven in:
- paragraaf B8.1 ‘Controle op volledigheid’;

- paragraaf B8.2 ‘Controle op kwaliteit - uitsluiting van data’;
- paragraaf B8.3 ‘Controle op afwijkingen door drift bij continue meetsystemen - toepassing van correcties’;
- paragraaf B8.4 ‘Data-aggregatie’;
- paragraaf B8.5 Berekening van emissies en het verwijderingsrendement;
- paragraaf B8.6 ‘Data-analyse van relaties bij luchtwassers en biobedden’.

Resultaten
Dit hoofdstuk omvat een beschrijving (in tekst) en visualisatie (in de vorm van grafieken en tabellen) van alle operationele variabelen en meetvariabelen die onderwerp uitmaken van de meetcampagne. Het bevat ook de verschillende plots die opgesomd staan in paragraaf B8.6. Dit deel omvat de loutere beschrijving en visualisatie van de resultaten, zonder interpretatie daarvan. De beoordelende instantie, die het meetrapport beoordeeld, kan eisen om naast het meetrapport een Excel-document aan te leveren met alle ruwe data, berekeningen, grafieken en tabellen.

Discussie
Dit hoofdstuk omvat een reflectie op de validiteit van het onderzoek en een interpretatie (duiding en verklaring) van de resultaten. In het bijzonder gaat het om:

- bespreking van afwijkende omstandigheden die de meetresultaten kunnen hebben beïnvloed;
- het vergelijken van de resultaten met de verwachting voorafgaand aan de meetcampagne en/of resultaten uit de literatuur van soortgelijke luchtzuiveringssystemen, alsook het geven van mogelijke verklaringen voor verschillen daartussen.
- een evaluatie van de representativiteit van de resultaten in relatie tot:
  - de systeembeschrijving van het luchtzuiveringssysteem, inclusief de ontwerpparameters en de aanwezige processturing en regelkringen (zie paragraaf B3.2);
  - het normale bereik van de gerelateerde operationele variabelen (zie paragrafen B3.2.1 t/m B3.2.6).
- een onderbouwing, met argumenten, of de resultaten betrouwbaar en plausibel mogen worden verondersteld en representatief voor het onderzochte luchtzuiveringssysteem;
- een toelichting op de bruikbaarheid van de resultaten voor een algemene erkenning.

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

In het bijzonder moet hier worden gerapporteerd:

- de essentiële onderscheidende kenmerken van het luchtzuiveringssysteem onder studie;
- de diercategorie, de bereiken aan emissiecomponent belasting, emissiecomponent concentraties en verblijftijden (EBRT) waarover werd gemeten;
- het gemiddelde verwijderingsrendement per onderzoekslocatie (met minimum, maximum en standaardafwijking) en het overall gemiddelde verwijderingsrendement.

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
In bijlagen wordt achtergrondmateriaal opgenomen dat van nut is maar de hoofdtekst onnodig lang zou maken.

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 luchtzuiveringssystemen 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)		**DEEL C (emissiemonitoring)**
Focus op juistheid en zekerheid	=	Focus op juistheid en zekerheid
Focus op representativiteit	≠	Focus op volledigheid
Emissiegetal representatief voor populatie	≠	Emissiegetal is stalspecifiek
Actoren en taken/verantwoordelijkheden		Actoren en taken/verantwoordelijkheden
- Producent brengt stalsysteem/techniek in	≠	- Producent afwezig
- Veehouder is onderzoekslocatie	≠	- Veehouder is vergunningshouder
- Meetinstantie verricht meetonderzoek (experimenteel karakter)	≠	- Meetinstantie verricht emissiemonitoring (observationeel karakter)
- IenW/RvO ontvangen meetrapport	≠	- Bevoegd gezag (Prov./Gem.) ontvangt emissiegetal
Er is keuze uit proefdesigns	≠	Er wordt gemeten in een stal "as is"
Er moet voldaan worden aan landbouwk. randvoorw.	≠	Er wordt gemeten in een stal "as is"
Stalbron moet valide worden bemeten in termen van meetstrategie en meetmethoden	=	Stalbron moet valide worden bemeten in termen van van meetstrategie en meetmethoden
Meetinstantie stelt onderzoeksrapportage op	≠	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 meetwaaiers of frequentiegeregelde ventilatoren 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 luchtzuiveringssystemen**, zoals luchtwassers, biobedden, warmtewisselaars en mestdroogtunnels.

Wat betreft de te meten stof:

- koolstofdioxide (CO_2) ten behoeve van de natuurlijke tracergas ratiomethode;
- ammoniak (NH_3) als emissiecomponent;
- methaan (CH_4) als emissiecomponent;
- optioneel: lachgas (N_2O) als emissiecomponent.

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 bemeten 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 CO_2-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 CO_2. Hierdoor kan de natuurlijke tracergas ratiomethode niet (zonder aanvullende metingen van de CO_2-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 beoordeeld.

De veehouderij is verantwoordelijk voor:

- het afnemen van de dienst van emissiemonitoring;
- 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 emissiemonitoring 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 emissiemonitoring 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 A2.3 ‘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 (richtlijn) en een projectplan of onderzoeksplan is omschreven in paragraaf A1.5.5. Het opstellen van een meetplan per stalgebouw is wetenschappelijk gezien een vereiste om te komen tot kwaliteitsvolle metingen. In het meetplan wordt de veehouderij omschreven alsook hoe de emissies gaan worden bepaald.

In delen A en B wordt gevraagd om in het meetplan de veehouderij tot in detail te beschrijven, onder andere omdat:

- met die informatie aangetoond kan worden dat er voldaan is aan de landbouwkundige randvoorwaarden en er sprake is van een representatieve onderzoekslocatie;
- met die informatie verschillen kunnen worden verklaard of verbanden aangetoond, zowel in het emissieonderzoek zelf als later in meta-analyses over meerdere emissieonderzoeken;
- met die informatie in de toekomst eventueel bepaald kan worden of de emissiewaarden uit het emissieonderzoek gebruikt zouden kunnen worden om een emissiefactor af te leiden voor een andere diercategorie of ander huisvestingssysteem;
- enzovoort.

In het onderhavige deel C, dat gaat om het meten van emissies van een specifieke veehouderij met een doelvoorschriftvergunning (emissiemonitoring), kan volstaan worden met een eenvoudiger bedrijfsbeschrijving dat alleen de elementen bevat die nodig zijn om een algemeen beeld van de bedrijfssituatie te krijgen en te bepalen of er de emissiemonitoring valide en op een bij de bedrijfssituatie passende manier wordt uitgevoerd. In het meetplan wordt beschreven:

- de veehouderij/het stalgebouw dat gemonitord wordt:
  - stalgebouw en huisvestingssysteem
  - dieren
  - ventilatie
  - productiecyclus
- de wijze van het bepalen van het ventilatiedebiet;
- de uitvoering van het meetsysteem voor de emissiecomponent, 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 emissiemonitoring 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 emissiecomponent 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 zijn 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 leegstandsperioden moeten metingen doorlopen zodat een volledig jaarbeeld van concentraties en emissies wordt verkregen.

C3.2 Bemeetbaarheid van het stalgebouw

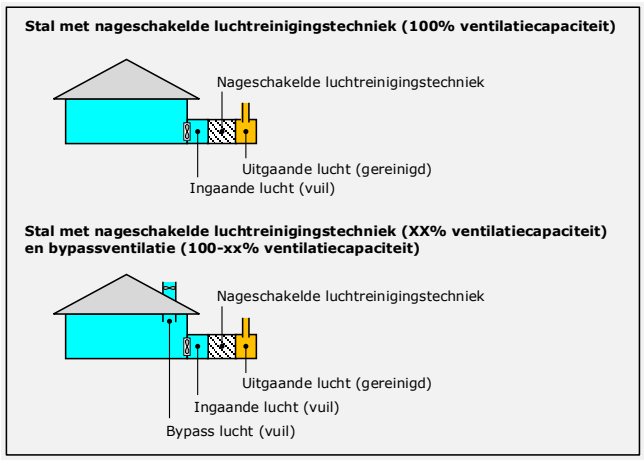
De tekst weergegeven in hoofdstuk A4.4.1 is hier eveneens van toepassing.

C3.3 Meetposities emissies uit stalgebouw

De tekst weergegeven in hoofdstuk A5.5 is hier eveneens van toepassing.

C3.4 Meetposities emissies uit nageschakelde luchtzuiveringssystemen

In Figuur C3.1 wordt het principe van een nageschakelde luchtreinigingstechniek verbonden aan een stal weergegeven.



Figuur C3.1 *Schematische weergave van een nageschakelde luchtreinigingstechniek (luchtwasser, biobed, warmtewisselaar 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 C3.1); er is geen sprake van bypassventilatie (onderste deel van Figuur C3.1).

De **emissie** die optreedt na passage door de nageschakelde luchtreinigingstechniek wordt bepaald op basis van het meten van de concentratie van de emissiecomponent in de **uitgaande luchtstroom**. Tegelijk met de uitgaande concentratie wordt ook de concentratie van de emissiecomponent in de ingaande luchtstroom gemeten. Op basis van de uitgaande versus de ingaande concentratie wordt het **procentuele verwijderingsrendement** van de techniek bepaald op dagniveau, volgens:

$$\rho = \frac{C_{stal} - C_{uit}}{C_{stal}} * 100\% \qquad \text{(C1)}$$

Met:

- ρ = procentueel verwijderingsrendement in %
- C_{stal} = concentratie ingaande luchtstroom
- C_{uit} = concentratie uitgaande luchtstroom

C4 Meetmethoden ventilatiedebiet

C4.1 Methoden

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

1. meetwaaiers;
2. frequentiegestuurde ventilatoren met registratie;
3. tracergas ratiomethode met het CO_2 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:

- meetwaaiers worden periodiek gekalibreerd. De kalibratietermijn wordt daarbij onderbouwd gekozen door de meetinstantie. Voor het overige is voor meetwaaiers de tekst zoals weergegeven in hoofdstuk A6 eveneens van toepassing;
- ventilatoren worden periodiek gecontroleerd. Dit kan bijvoorbeeld tijdens leegstand door het monteren van een gekalibreerde meetwaaier en het doorlopen van het gehele bereik (10, 20, …, 90%). Alternatief kan de meetwaaier gedurende de gehele ronde geïnstalleerd blijven, en tussen rondes over ventilatoren gerouleerd worden;
- CO_2-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 CO_2 kan eveneens geschikt zijn voor het verifiëren van door meetwaaiers of ventilatoren 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 emissiecomponent 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 Referentie Methoden (SRM)

De continue meting van de luchtconcentraties van de emissiecomponent wordt gecontroleerd aan de hand van de SRM voor de emissiecomponent 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 monsternameleidingen vanaf elk emissiepunt naar het meetsysteem te voeren waarbij vóór het meetsysteem een meetpuntschakelaar wordt gebruikt. Bij gebruik van een meetpuntschakelaar moet de schakelfrequentie en meetduur per monsternamepunt zodanig worden gekozen dat een stabiele concentratiewaarde wordt bereikt en alleen die dat deel van de meetduur per monsternamepunt wordt gebruikt voor verdere berekeningen.
- continue meetsystemen zijn zodanig uitgevoerd dat er gelijktijdig een duplo monstername/meting met de SRM kan worden uitgevoerd van het emitterende gas en van CO_2 als dit als natuurlijk tracergas wordt gebruikt (zie hoofdstuk A7);
- tenminste tweemaal per jaar vindt er een controlemeting plaats door een gelijktijdige duplo monstername/meting met de SRM (of Equivalente Methode; EM) van het emitterende gas en van CO_2 als dit als natuurlijk tracergas wordt gebruikt, bij een monstername-/meetduur die gelijk is aan minimaal vijf keer de detectielimiet **en** drie uren. De gemiddelde waarde van het continue meetsysteem over de monstername-/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 emissiemonitoring 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 storingen 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 meetpuntomschakelaar (MPO) in te zetten. Bij een MPO 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 MPO. De MPO is geplaatst vóór de meetmethode. De MPO "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 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 monsternamepunt altijd op hetzelfde tijdstip wordt bemeten 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 als:

$$E_{ij}\ (\mathrm{kg/dag}) = Q_{ij} * \left(C_{uit_{ij}} - C_{in_{ij}}\right) * \frac{1\ kg}{10^6\ mg} * \frac{24\ uren}{1\ dag} \qquad \text{(C2)}$$

Met:

- E_{ij} = de emissie van ammoniak op moment i binnen jaar j in kg/dag
- Q_{ij} = het ventilatiedebiet op moment i binnen jaar j in m^3/uur
- C_uit_{ij} = de concentratie van ammoniak in de uitgaande luchtstroom van de stal in mg/m^3
- C_in_{ij} = indien gemeten: de concentratie van ammoniak in de ingaande luchtstroom van de stal in mg/m^3

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 ($\frac{24\ uren}{1\ dag}$)-deel in formule C2 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 variabele 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:

$$E_j\ (\text{kg/jaar}) = \sum_{i=1}^{n}(E_{ij}) \qquad \text{(C3)}$$

Met:

- E_j = de emissie van ammoniak binnen jaar j in kg/jaar;
- n = het aantal dagen in het meetjaar (zonder dataverlies en in een schrikkeljaar is n maximaal 366)

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 emissiemonitoring 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 Schatting 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 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 paragraaf 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 welke 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 NH_3 en CH_4 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, eventueel deel B) 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 koolstofdioxide (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 sensoren[1] voor concentratiemetingen moet voldoende groot zijn, en op orde te worden gehouden door deugdelijk onderhoud en tijdige signalering van afwijkingen. Tevens moet vastgesteld 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 SRM-metingen. 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.

hoofdlijn van de aanpak voor het testen van de meetnauwkeurigheid in het laboratorium is geïnspireerd op de werkwijze beschreven in een conceptversie van de norm voor het testen van sensoren voor gasconcentraties in de buitenlucht (CEN/TC 264; thans: CEN/TS 17660-1:2022) en de "Guide to the expression of uncertainty in measurement" (GUM; JCGM 100). 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 NH_3-concentraties in stallucht (zie bijlage 3 in Vonk et al., 2021) en de Europese standaard EN 14793 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 D2.1 geeft statistische kenmerken voor waargenomen concentraties NH_3, CO_2 en CH_4 in en rond stallen (met daarnaast temperatuur en luchtvochtigheid, om een indruk te geven van de condities waarbij de bedrijfsmonitor moet kunnen functioneren). Deze gegevens zijn gebaseerd op door Wageningen Livestock Research gerapporteerde stalconcentratiemetingen 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 en dergelijke 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, moet aangetoond worden dat de meting representatief is voor beschouwd tijdvak.

Tabel D2.1 *Statistische kenmerken voor een aantal onderzochte variabelen per diercategorie uit emissieonderzoek met referentiemethoden: daggemiddelde concentraties van NH_3, CO_2 en CH_4 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 CO_2-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 moet binnen ± 2 ºC en de relatieve vochtigheid binnen ± 5% blijven gedurende de tests. Het gekalibreerde meetbereik beslaat minimaal het 95% gegevensbereik uit Tabel D2.1 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 paragraaf 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 ¼ van de middelingstijd mag zijn. Voor de toepassing in emissiemonitoring 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:

$$u(lof) = \frac{\rho_{max}}{\sqrt{3}} \quad \text{(D1)}$$

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 Binnen- en tussen-instrument herhaalbaarheid, detectie- en kwantificatielimieten

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

$$s_r = \sqrt{\frac{\sum(C_i - C_m)^2}{N-1}} \quad \text{(D2)}$$

Met:

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

De standaarddeviatie van de tussen-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. Op dit concentratieniveau kan de sensor de aanwezigheid van het doelgas aantonen, maar precieze concentratie nog niet vaststellen. Hiervoor wordt tevens de kwantificatielimiet vastgesteld (als $10s_r$) voor substitutie van meetwaarden die onder dit niveau liggen.

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 tTabel D2.1).

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:

$$u(X_V) = \left|\frac{C_{X_2} - C_{X_1}}{X_2 - X_1}\right| \frac{X_{max} - X_{min}}{\sqrt{3}} \quad \text{(D3)}$$

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 moet op één of beide variabelen getest 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:

$$\hat{b} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} X_i C_i - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} C_i}{n\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2} \quad \text{(D4)}$$

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:

$$\hat{a} = C_m - \hat{b}X_m \quad \text{(D5)}$$

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:

$$u(X) = \left[\frac{\hat{b}^2}{3}[(X_{min} - X_m)^2 + (X_{min} - X_m)(X_{max} - X_m) + (X_{max} - X_m)^2] + u(lof)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{(D6)}$$

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:

$$\sigma = 2\sqrt{u(lof)^2 + u(Xv)^2 + u(X)^2} \quad \text{(D7)}$$

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 moet in ieder geval een veldtest uitgevoerd worden. Gedurende deze test worden de prestaties van het systeem onder praktijkomstandigheden vergeleken met de Standaard Referentie Methoden (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 EN 14793 en zoals voor NH_3 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 observationeel multi-bedrijfslocatie design uit deel A.
- 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 volgens 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 NH_3, CO_2 en CH_4 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, bijvoorbeeld 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 moet 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, moet oorzaak nader onderzocht te worden. Alleen als er een duidelijke technische of menselijke oorzaak voor gevonden wordt, kan overwogen worden de uitbijters uit te sluiten bij de verdere data-analyse. Dit moet in de rapportage worden vermeld en onderbouwd.
- Voor het beoordelen van tussen-instrument herhaalbaarheid onder veldcondities moet op in ieder geval een van de locaties een viertal bedrijfsmonitoren tegelijk 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 moet 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 EN 14793). 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, moet deze test altijd voor vier bedrijfsmonitoren 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 tussen-instrument 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 ijkgassen 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 moet afdoende zijn om drift van de sensor(-en) te kunnen ondervangen. Als deze frequentie lager is dan fabrieksvoorschrift, moet door meetinstantie onderbouwd 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 moet een eventuele monsternameleiding geplaatst worden volgens het in deel A beschrevene. Speciaal aandachtspunt vormt de stroomvoorziening, deze moet zo stabiel mogelijk zijn of bedrijfsmonitor heeft hiertoe ingebouwde voorzieningen.

Tevens moet de opwarmtijd in acht genomen 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 apparatuur gesignaleerd kunnen worden. Voor het monitoren van emissies, kan het nuttig zijn de waarden tevens te aggregeren tot uur- en dag-, maand- of jaarwaarden. De informatie moet zo lang bewaard blijven als vereist voor de verantwoording, of om ook over langere termijn inzicht te krijgen over de prestaties van het stalsysteem en het gevoerde management.

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

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 moet 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

Condities 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 veldkalibratielijn gebaseerd op alle instrumenten in het validatie-onderzoek te berekenen, en vervolgens na correctie van de meetdata met deze generieke kalibratielijn 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 kalibratielijn 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.

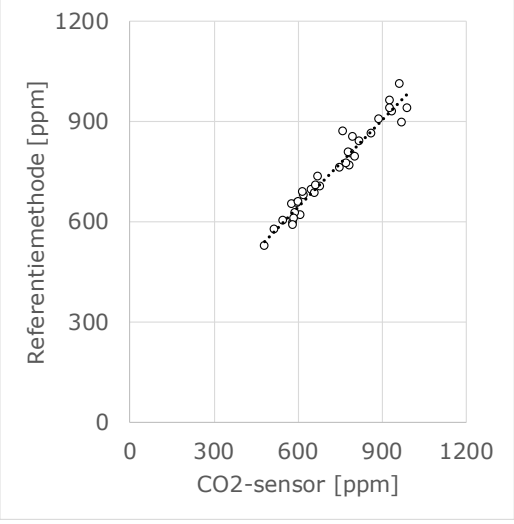
Het in het rapport gepresenteerde rekenvoorbeeld dient als een ‘proof of concept’, en genoemde criteria zijn inschattingen van wat haalbaar en noodzakelijk zou zijn om resultaten te verkrijgen die betrouwbaar genoeg zijn om zinvol te kunnen interpreteren. De onzekerheid in de vaststelling van emissies kan aanzienlijk zijn en moet beter gekwantificeerd 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 monstername gedurende 24 uur in luchtzakken gevolgd door laboratoriumanalyse met een GC-analyse voor CO_2 en CH_4, en monstername gedurende 24 uur volgens de natchemische methode voor NH_3. 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 CO_2-sensoren bij pluimvee is het aantal beschikbare locaties momenteel beperkt tot twee.

Voorbeeld 1: CO_2-sensoren voor metingen bij melkveelocaties
In onderstaande figuur worden simultane metingen met CO_2-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).



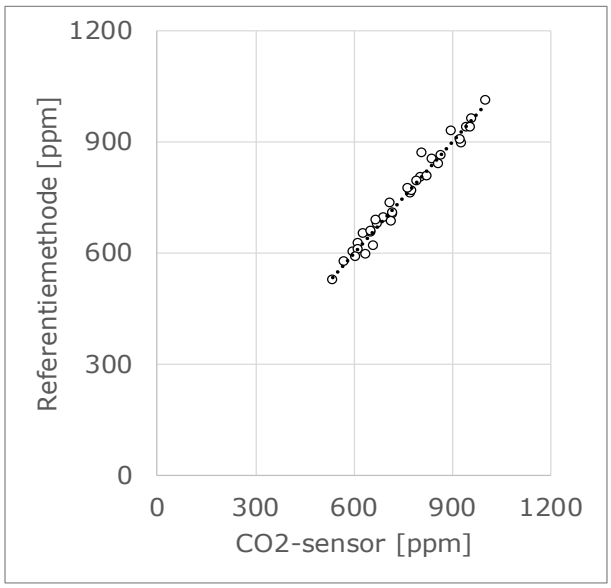
Tabel 1 *Regressielijn $y = a + bx$.*

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

Tabel 2 *Orthogonale regressie.*

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

Omdat de sensoren niet voldeden is als volgende stap een veldkalibratie uitgevoerd op basis van dezelfde dataset. Vervolgens zijn met de verkregen kalibratielijn (per sensor/locatie) de sensor-data gecorrigeerd, en is opnieuw de gelijkwaardigheid van de sensor-methode (met veldkalibratielijn) beoordeeld met de procedure beschreven in paragraaf D4.2. Na deze veldkalibratie (zie hieronder) werd wel voldaan aan de gestelde criteria voor gelijkwaardigheid.

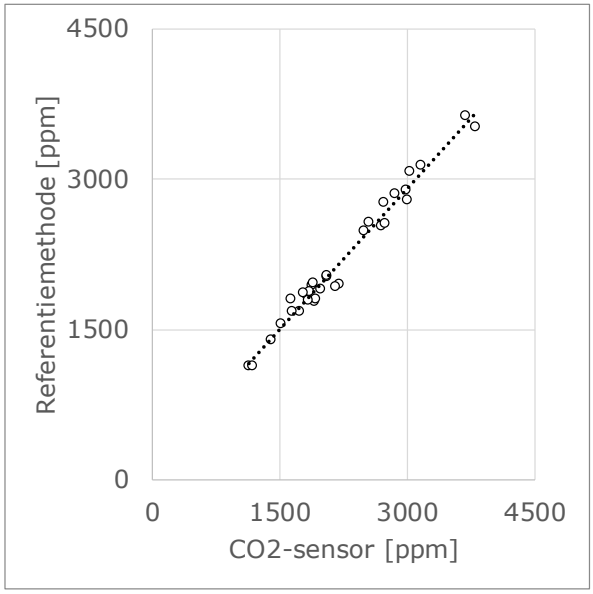


Tabel 3 *Orthogonale regressie.*

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

Voorbeeld 2: CO_2-sensoren voor metingen bij varkenslocaties

In onderstaande figuur worden simultane metingen met CO_2-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 4 *Regressielijn $y = a + bx$.*

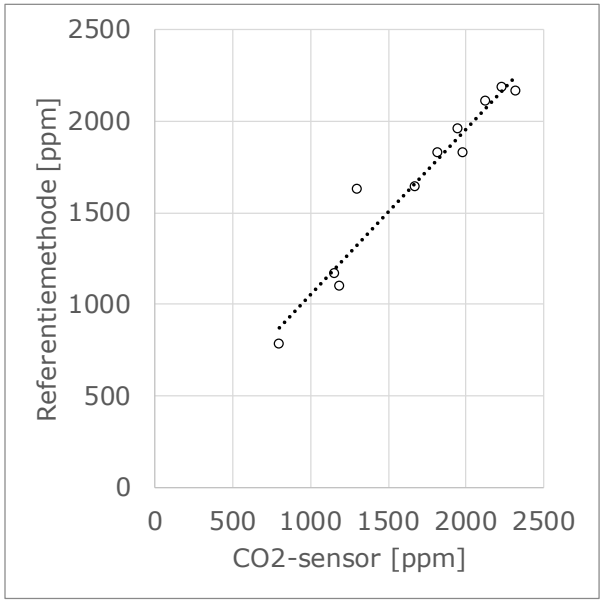
	b	a
BG1	1,02	-129,1
VV1	0,94	47,4
BG2	1,01	-16,0
VV2	0,84	358,0

Tabel 5 *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: CO_2-sensoren voor metingen bij pluimveelocaties

In onderstaande figuur worden simultane metingen met CO_2-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).



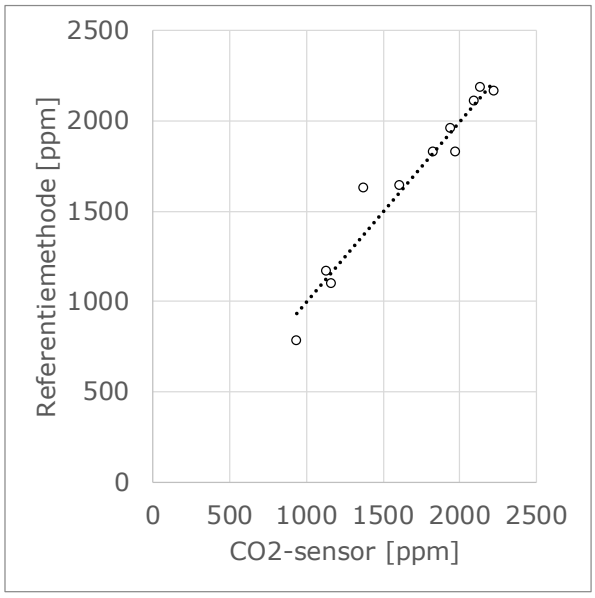
Tabel 6 *Regressielijn $y = a + bx$.*

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

Tabel 7 *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 D4.2. Na deze veldkalibratie (zie hieronder) werd wel voldaan aan de gestelde criteria voor gelijkwaardigheid.

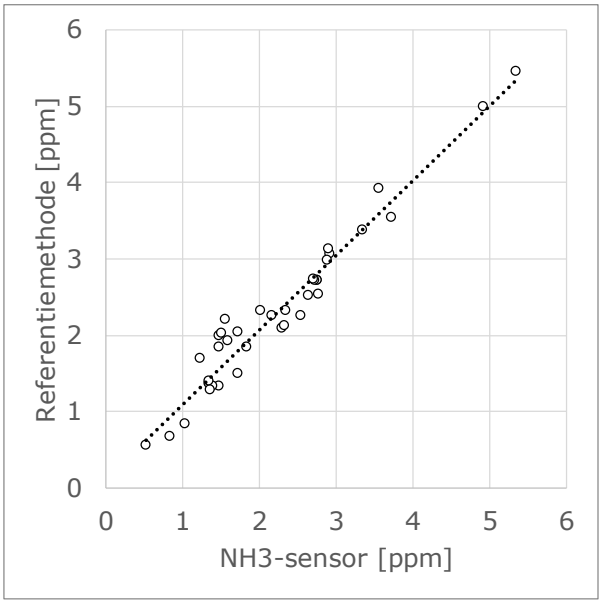


Tabel 8 *Orthogonale regressie.*

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: NH_3-sensoren voor metingen bij melkveelocaties

In onderstaande figuur worden simultane metingen met NH_3-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 9 *Regressielijn $y = a + bx$.*

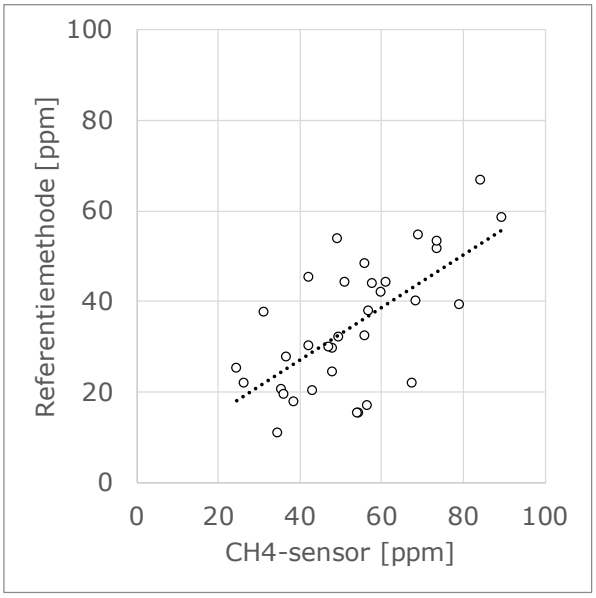
	b	a
M1	0,74	0,88
M2	0,92	0,04
M3	1,08	-0,24
M4	0,99	0,19

Tabel 10 *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: CH_4-sensoren voor metingen bij melkveelocaties

In onderstaande figuur worden simultane metingen met CH_4-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).



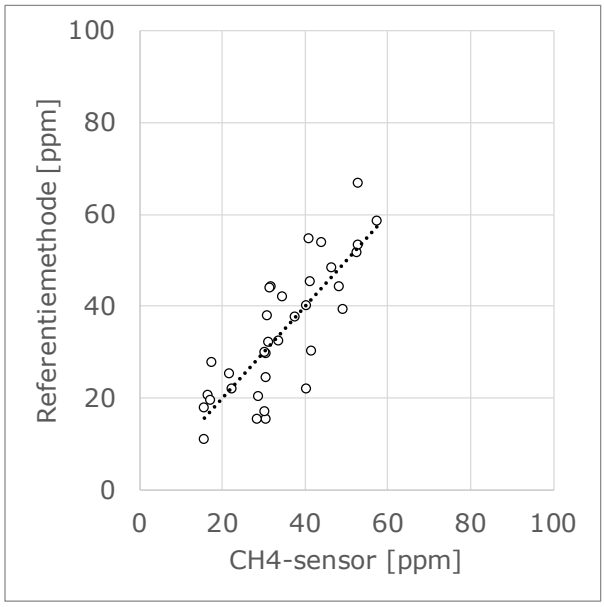
Tabel 11 *Regressielijn $y = a + bx$.*

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

Tabel 12 *Orthogonale regressie.*

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

Omdat de sensoren niet voldeden is als volgende stap een veldkalibratie uitgevoerd op basis van dezelfde dataset. Vervolgens zijn met de verkregen kalibratielijn (per sensor/locatie) de sensor-data gecorrigeerd, en is opnieuw de gelijkwaardigheid van de sensor-methode (met veldkalibratielijn) beoordeeld met de procedure beschreven in paragraaf D4.2. Na deze veldkalibratie (zie hieronder) werd nog steeds niet voldaan aan de gestelde criteria voor gelijkwaardigheid.



Tabel 13 *Orthogonale regressie.*

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

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

Versie

Auteurs

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 PM2,5 mass concentration of suspended particulate matter [Luchtkwaliteit - Standaard gravimetrische meetmethode voor de bepaling van de PM10 of PM2,5-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. Stationairy 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: Monstername 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 pro-duction 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.

Kenny, L.C., R. Aitken, C. Chalmers, J.F. Fabriès, E. Gonzalez-Fernandez, H. Kromhout, G. Lidén, D. Mark, G. Riediger, V. Prodi. 1997. A collaborative European study of personal inhalable aerosol sampler performance. Ann. Occup. Hyg. 41(2):135-153. https://doi.org/10.1016/S0003-4878(96)00034-8.

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 emissiemonitoring 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/Ejounral/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. Rikkers, H.J.C. van Dooren, N.W.M. Ogink, 2023. Inventarisatie van methaansensoren en validatie van de Axetris LGD Compact-A CH4 ten behoeve van continue emissiemonitoring in de melkveehouderij. 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 feedback verwerkt dat op uitvraag is ontvangen van het Ministerie van LVVN, 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 onderdelen van deel A geschreven die in versie 1 nog blanco waren gelaten en zijn in Delen A en C onderdelen toegevoegd of geactualiseerd.
- Belangrijkste toevoegingen, verwijderingen en aanpassingen:
  - Par. A4.2: in de case-control proefopzetten is niet langer het X.100 huisvestingsysteem de verplichte referentie maar moet een huisvestingssysteem 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 huisvestingssystemen met emissiefactoren op basis van metingen aan één bedrijfslocatie (bijvoorbeeld volgens het Groen label protocol) niet toegestaan zijn. Ook huisvestingssystemen 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 meetwaaiers is uitgebreid en geconcretiseerd.
  - Par. A6.4.2: er is een beschrijving opgenomen van de methodiek van statische fluxkamer metingen ter bepaling van de CO_2-productie uit stropotten.
  - Par. A7.6: er is beschreven hoe luchtconcentraties van bioaerosolen bemeten 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 precisiematen 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 CO_2-productie ten behoeve van de tracergasratiomethode 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 bemeten. 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.

Versie 3

- Versiedatum: 23 april 2026
- Ontstaansproces: de derde versie is tot stand gekomen tussen november 2025 en april 2026. Deel B is opgesteld op basis van een eerste versie 'Meetrichtlijnenprotocol voor nageschakelde luchtzuiveringssystemen' geproduceerd door een werkgroep van het Vlaamse WeComV gepubliceerd op 18 november 2025. De bestaande inhoud van het Vlaamse protocol is op punten nog verfijnd en de inhoud is verder verbreed met systemen (filtersystemen, ionisatiesystemen, warmtewisselaars, mestdroogtunnels) en emissiecomponenten (stof, fijnstof). Daarnaast zijn er onderdelen van deel A geactualiseerd en/of verfijnd.
- Belangrijkste toevoegingen, verwijderingen en aanpassingen:
  - Par. 1.5.2: het verschil tussen concentraties en emissies is toegelicht.
  - Par. 2.1: de lijst met afkortingen is uitgebreid met nieuwe afkortingen die hun intrede hebben gedaan met deel B.
  - Par. 2.1: de lijst met begrippen is uitgebreid met nieuwe begrippen die hun intrede hebben gedaan met deel B.
  - Deel A is op een aantal onderdelen geactualiseerd en/of verfijnd:
    - Par. A4.1: er is een indicatie opgenomen van de reductiepercentages van interventies die met de beschreven proefopzetten, aantallen onderzoekslocaties en aantallen metingen bepaald kunnen worden.
    - Par. A5.3: wanneer er discontinu wordt gemeten bij lineair groeiende dieren is aangegeven dat tenminste één van de minimaal zes vereiste discontinue metingen plaatsvindt in de laatste twee weken van de groeiperiode. wanneer er discontinu wordt gemeten bij exponentieel groeiende dieren is aangegeven dat tenminste één van de minimaal zes vereiste discontinue metingen plaatsvindt in de laatste drie dagen van de groeiperiode.
    - Par. A5.4: expliciet is gemaakt in deze paragraaf dat melkveebedrijven die aan beweiding doen geïncludeerd mogen worden aan de steekproef van onderzoekslocaties in een meetcampagne. Daarbij is beschreven dat er een 'hybride' meetstrategie moet worden toegepast. Achtergronden bij deze paragraaf zijn weergegeven in een toelichtend kader.
    - Par. A8.1, A8.2 en A8.3 zijn geharmoniseerd met deel B.
    - Par. A8.8: bij de standaardisatieregels voor de ammoniakemissie van melkkoeien zijn de niveaus van de correctiefactoren waar naartoe het meetresultaat moet worden gestandaardiseerd (buitentemperatuur, tankmelkureum en beloopbaar vloeroppervlak) geactualiseerd naar huidige niveaus. Achtergronden bij deze actualisatie zijn weergegeven in een toelichtend kader.
    - Hoofdstuk A9: de beschrijving van de rapportage is geharmoniseerd met deel B.
    - De landbouwkundige randvoorwaarden in bijlage A1 zijn verfijnd.
    - De rekenregels in bijlage A2 voor CO2-productie ten behoeve van de natuurlijke tracergas ratiomethode zijn geëvalueerd door de werkgroep. In de bijlage is beschreven op grond van welke studies deze evaluatie is uitgevoerd. Voor melkkoeien is de rekenregel gewijzigd van het CIGR/Pedersen-model naar 'Model 3' uit de paper van Kjeldsen et al. (2024). Voor vleeskalveren is aangegeven dat het CIGR/Pedersen-model onvoldoende presteert en alleen gebruikt mag worden als secundaire bepaling van het ventilatiedebiet, naast een valide methode, ter verdere evaluatie van het model. Voor melkgeiten is aangegeven dat het CIGR/Pedersen-model valide is, maar dat de CO_2-productie door de (doorgaans) aanwezige stropot moet worden gemeten en opgeteld bij de CO_2-productie door de dieren zoals berekend met het CIGR/Pedersen-model.
  - Deel B is opgesteld.
  - Deel C is ongewijzigd

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.