

Technische Leidraad “Pilot meten op bedrijfsniveau”

Deze technische leidraad is opgesteld om handreikingen te doen voor aanvragers onder de Subsidieverordening Inrichting Landelijk Gebied 2015 ev, hoofdstuk 1.4c “Verbeteringen in de Veehouderij (Pilot meten op bedrijfsniveau)”. De informatie is geactualiseerd in februari 2019. In deze technische leidraad wordt met “sensor” de individuele unit bedoeld die de metingen uitvoert, en met “meetinstrumenten” het systeem van sensoren die samen binnen de behuizing van een apparaat alle metingen uitvoeren.

Inhoudsopgave:

Paragraaf	Bladzijde
1. Achtergrond	1
2. Meetbare stoffen	2
3. Sensorkeuze	2
4. IJkingsprotocol	4
5. Plaatsingsprotocol	5
6. Beschikbare sensoren	5
7. Vertalen van data naar informatie	6
8. Minimumeisen meetbereik sensoren	6
9. Minimumeisen kwaliteit sensoren	7
10. Minimum project eisen	7

1. Achtergrond: Meten van stoffen en gassen in en rondom stallen met behulp van sensoren

De lucht in en rondom stallen bevat stof en gassen. Gasvormige stoffen zijn kooldioxide (CO₂), ammoniak (NH₃), zwaveldioxide (SO₂), methaan (CH₄) en vluchtige organische stoffen (VOS) zoals boterzuur en azijnzuur:

- NH₃ of ammoniak is een gas dat ontstaat in de mestkelder en op met mest bevuilde vloeren. Ammoniak is een schadelijk, sterk ruikend en irriterend gas dat vanaf een concentratie van 20 à 25 ppm (parts per million; ppm) schadelijk kan zijn voor mens en dier. De concentratie ammoniak is vooral een maat voor de hokbevuiling, de grenswaarde is hierbij 20 ppm NH₃. De menselijke neus neemt ammoniak waar vanaf ongeveer 6 ppm. Hierbij moet opgemerkt worden dat er tussen mensen aanmerkelijke verschillen kunnen zijn in sensitiviteit.
- H₂S of zwavelsulfide ontstaat bij anaerobe afbraak van mest en heeft bij lage concentraties de geur van rotte eieren. Bij het legen van mestkelders kunnen er kortstondig hoge tot extreem hoge concentraties voorkomen. Waterstofsulfide, soms zwavelwaterstof genoemd, is een sterk ruikend gas. De grenswaarde in Nederland voor H₂S is 1,6 ppm. H₂S is een gas dat heel snel wordt waargenomen omdat de reukgrens op 0,1 ppm ligt.
- CO₂ of kooldioxide is een geur- en kleurloos gas dat van nature voorkomt in een concentratie van ruim 400 ppm. Een CO₂-gehalte van meer dan 3000 ppm betekent dat er te weinig wordt geventileerd.
- CH₄ of methaan komt vooral voor in rundveestallen. Methaan is na CO₂ het belangrijkste broeikasgas. De gemiddelde CH₄ concentratie in de buitenlucht is 2 ppm.
- Veel voorkomende VOS zijn onder meer boterzuur, azijnzuur, en zwavelverbindingen. Het is een verzamelnaam voor koolwaterstoffen die een sterke geur hebben en gemakkelijk verdampen. De hoeveelheden VOS verminderen snel doordat ze zich snel verspreiden door de lucht.

Voor bovenstaande gassen zijn een keur van sensoren beschikbaar. Ammoniak, zwavelsulfide, en kooldioxide worden afzonderlijk gemeten. Voor het meten van VOS is een foto ionisatie detector (*Photo Ionisation Detection*; PID) een veel toegepaste methode. Dit is een breedbandige, niet specifieke sensor die reageert op een grote verscheidenheid aan organische (VOS) en enkele anorganische componenten. In de PID sensor zit een UV-lamp die het te meten gas ioniseert. De gasmoleculen vormen een elektrische stroom tussen twee elektroden. Deze stroom wordt vertaald naar een meetresultaat: de gasconcentratie in ppm.

Stof is in een stal altijd aanwezig. De concentratie waarin dit stof voorkomt en de grootte van de stofdeeltjes bepalen de mate van schadelijkheid. In de praktijk worden concentraties gemeten die variëren van 1 tot 10 mg/m³. De concentratie stof in de stal moet lager zijn dan 2,4 mg/m³.¹

Voor de deeltjesgrootte geldt: hoe kleiner, hoe schadelijker. Vooral de deeltjes die kleiner zijn dan 10 µm (micrometer) zijn het schadelijkst. Het fijn stof in een stal is afkomstig van voer, huidschilfers, en mest en is drager van bacteriën en virussen. Stofdeeltjes met een diameter kleiner dan 10 µm worden aangeduid als PM₁₀. Stofdeeltjes met een diameter kleiner dan 2,5 µm worden aangeduid als PM_{2,5} (zeer fijn stof).

¹ Volgens Donham en Cumro (1999) is de op epidemiologisch onderzoek gebaseerde grenswaarde voor inhaleerbaar stof 2,4 mg/m³: Zie hiervoor Donham, K.J. en D. Cumro 1999. Setting maximum dust exposure levels for people and animals in livestock facilities. In: Congress proceedings of the international symposium on dust control in animal production facilities; May 30th - June 2nd, pp. 93-110. Aarhus, Denmark.

De toegestane grenswaarde voor fijnstof PM₁₀ is gelijk aan 40 µg/m³ (jaargemiddelde).² In pluimvee- en varkens stallen worden stofconcentraties gemeten die 10 tot 200 x hoger liggen dan in de buitenlucht.³ De buitenconcentraties voor PM₁₀ massa variëren veelal tussen 0,02 tot 0,22 mg/m³, oftewel 20 tot 220 µg/m³. In de stallen zijn PM₁₀ concentraties gemeten van 180-1150 µg/m³ bij varkens, 70 µg/m³ bij melkvee, en 1.420-3.780 µg/m³ bij pluimvee. Strooiselsystemen veroorzaken hogere stofproducties dan systemen zonder strooisel; brijvoer geeft minder stof dan droogvoer, en melkveestallen hebben zeer lage stofconcentraties als gevolg van een lage stofproductie in combinatie met open stallen.

De relatieve vochtigheid (de mate waarin de lucht bij een bepaalde temperatuur met water is verzadigd) is afhankelijk van de buitenomstandigheden, de staltemperatuur, de ademhaling en de huidademhaling van de dieren, de drinkwatervoorzieningen en de mest- en urine-uitscheiding. Zowel te hoge als te lage RV zijn nadelig. Een te hoge RV gaat gepaard met condensvorming en verhoogde infectiedruk. Een te droge lucht irriteert de luchtwegen en veroorzaakt zo luchtwegaandoeningen. De ideale relatieve luchtvochtigheid is tussen 50 en 80%.

2. Meetbare stoffen

Geur in de veehouderij wordt veroorzaakt door de (microbiologische) afbraak van, veelal organische, componenten in mest, urine en voer. Belangrijke componenten die geur vanuit de veehouderij kunnen veroorzaken zijn: sulfiden, fenolen en indolen, vluchtige vetzuren, ammoniak en vluchtige aminen. De volgende stoffen zijn te meten: organische zuren (azijnzuur, boterzuur, propionzuur, isoboterzuur en isovalerinezuur), stikstofverbindingen (ammoniak, indol, trimethylamine), zwavelwaterstof, ketonen (aceton, butaandion, en 2-butanon), fenolen (fenol en p-Cresol), en fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}). Ammoniak en zwavelwaterstof moeten met afzonderlijke sensoren worden gemeten. De overige bovengenoemde gassen kunnen met een VOS sensor (met een 10,6 eV lamp) worden gemeten. Voor geur zijn dus drie sensoren nodig, voor VOS, H₂S en NH₃. De VOS sensor meet het complex aan bovengenoemde stoffen, zonder onderscheid te maken tussen de stoffen afzonderlijk. Voor fijnstof is een andere sensor nodig.

3. Sensorkeuze

In de veehouderij dienen sensoren, zeker bij gebruik in de stal, bestand te zijn tegen hoge concentraties van bijvoorbeeld ammoniak en CO₂. De gevoelige meetapparatuur moet hiertegen bestand zijn. Ook in de buitenlucht om de stal kunnen hoge concentraties aanwezig zijn en zijn tevens grote schommelingen in luchtvochtigheid en temperatuur waar de sensor tegen bestand moet zijn. Verder is het van belang dat de sensor zowel bij lage als bij hogere concentraties de meting goed uitvoert, omdat de concentratie van de betreffende stoffen schommelt en er grote verschillen zijn tussen bedrijven. Bij het realtime meten gedurende het gehele jaar, is de onafhankelijkheid van de weersomstandigheden van belang.

Welke sensor het meest geschikt is, hangt mede af van het doel. Om een indicatie te verkrijgen over het verloop in de concentratie van stoffen die samenhangen met geur(overlast), is het vooral relevant dat de sensor verschillen registreert in de tijd en zichtbaar is op welke momenten of periode een bepaalde grens wordt overschreden. Hiervoor is een precieze meting van de absolute waarde

² <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/luchtkwaliteit/regelgeving/wet-milieubeheer/beoordelen/grenswaarden/>

³ A.J.A. Aarnink H.H. Ellen (2006) Processen en factoren bij fijn stofemissie in de veehouderij. Zie ook: A.J.A. Aarnink, M. Cambra-López, H.T.L. Lai, N.W.M. Ogink (2011) Deeltjesgrootteverdeling en bronnen van stof in stallen.

minder noodzakelijk, een betrouwbare trend is voldoende. Voor het meten van stoffen die een (direct) risico vormen voor de volksgezondheid of concentraties die gekoppeld worden aan vergunningverlening en of certificering is een meting met een betrouwbare absolute waarde wel noodzakelijk.

4. ijking protocol: Kalibreren en ijken van sensoren

Bij sensoren is de betrouwbaarheid van output het belangrijkste. Daarvoor zijn geijkte sensoren nodig die bewezen hebben te functioneren in de betreffende omstandigheden. Kunnen ze nauwkeurig genoeg meten binnen het bereik wat vereist is? De technische specificaties van de sensorleverancier moeten hier uitsluitend over geven. Zijn de sensoren te ijken, immers alle sensoren gaan uiteindelijk afwijken en moeten dus regelmatig geijkt worden. Van praktisch belang is ook de vervangbaarheid. Als de sensor niet meer functioneert moeten snel en eenvoudig onderdelen kunnen worden vervangen, zonder het hele apparaat te wijzigen.

Fabrikanten van sensoren geven in hun technische specificaties aan wat het meetbereik en het minimum detectieniveau is. Met het kalibreren van sensoren wordt een meting van de sensor met behulp van een formule vertaald naar de concentratie die gemeten zou zijn met een referentiemeting. Als andere omgevingskenmerken zoals temperatuur, luchtvochtigheid en concentraties van andere stoffen de sensormeting beïnvloeden, moeten die ook worden meegenomen in de formule. Fabrikanten dienen te omschrijven wat de drift-risico's van het betreffende meetsysteem zijn, alsook de frequenties van herkalibraties.

Fabrikanten dienen de kalibratieprocedure op te geven. Sommige sensoren kalibreren zichzelf automatisch. Bij kleine afwijkingen wordt de meetopstelling door de software gecorrigeerd. Dit proces wordt kalibratie genoemd. Controle kalibratie van gassen kan plaatsvinden met een kalibratiestandaard. Een kalibratiestandaard is lucht met een bekende concentratie van een verontreiniging. De gevonden concentraties moet bij beide controles gelijk zijn. Bij fijn stof is het niet mogelijk om een bekende hoeveelheid stof in een gascilinder op te slaan. In plaats daarvan kan een referentiemonitor van het RIVM worden gebruikt.

Sensoren worden met en zonder kalibratiedata geleverd. In geval deze zonder kalibratiedata worden geleverd dient de omzetting van het gemeten voltage naar de concentratie in ppm of ppb handmatig te worden gekalibreerd met behulp van een gasbuisje met 1 ppm van de betreffende stof te worden.

Minimaleisen ijking sensoren

Het verdient grote voorkeur om sensoren in te zetten die al door de fabrikant zelf zijn gekalibreerd. Veel sensoren worden geijkt voor een bepaalde temperatuurs- en luchtvochtigheidsrange en in de praktijk is de variatie groter. Sensordrift is een tweede aspect waar de praktijk mee te maken heeft. Daarom is een regelmatige herijking nodig. Tenzij de fabrikant in de technische specificaties uitdrukkelijk opneemt dat het niet of minder vaak nodig is, dienen de sensoren elke drie maanden te worden geijkt door een hiertoe geëquipeerd bedrijf. Indien meerdere sensoren op de locatie aanwezig zijn verdient het ook aanbeveling normalisatie uit te voeren. Dit is het regelmatig naast elkaar plaatsen van sensoren en de meetwaarden te vergelijken.

Regelmatig herijken van de gassensoren en schoonmaken van de PID-lamp is een vereiste. Tenzij de fabrikant uitdrukkelijk anders aangeeft dient elke drie maanden de sensor te worden gecontroleerd en – bij de VOS sensor - de PID lamp te worden schoongemaakt.

5. *Plaatsingsprotocol*

Afhankelijk van het doel dient de sensor op een passende plaats te staan. Indien het doel is om de mogelijke overlast bij omwonenden te bepalen, is een andere locatie optimaal dan wanneer het gaat om de concentratie die uit de stal komt (bijv. vergunningverlening). Ook het aantal sensoren dat nodig is hangt af van het beoogde doel en de specifieke situatie. Bij de plaatsing moet een afweging worden gemaakt tussen afstand en verschil in geurniveau tussen geursensor en huis.

Bij een bedrijf met een stal met één luchtuitlaatpunt dat vrij geïsoleerd in het landschap ligt zijn minder sensoren nodig dan in een gebied met veel (vee)bedrijven en veel burgerwoningen.

Naar verwachting is een meetnetwerk waarbij zowel in als buiten de stal gemeten wordt, en mogelijk ook bij de burgerwoningen, de meest optimale situatie om aan alle doelen tegemoet te komen. Een sensor met een ingebouwde GPS functionaliteit strekt tot aanbeveling. Door in de stal ook te meten, kan de veehouder directer zien welke activiteiten of managementkeuzen tot hogere concentraties leiden. Dit biedt directer handelingsperspectief dat toegespitst is op de specifieke situatie. De effectiviteit van maatregelen is ook sneller zichtbaar.

Minimumeisen plaatsing meetinstrumenten

In de stal moeten de meetinstrumenten die de sensor bevatten boven de dieren in de nabijheid van de uitgaande lucht worden geplaatst. Buiten de stal kunnen deze het beste aan de het stalgebouw worden bevestigd, maar zeker niet vlak achter de luchtwasser. De luchtvochtigheid is daar te hoog voor de sensoren. De buitenmeetinstrumenten dienen zodanig aan het stalgebouw te worden bevestigd, dat deze zich bevindt tussen het luchtuitlaatpunt van de stal en omwonenden.

6. *Beschikbare sensoren*

Voor wat betreft de beschikbaarheid van sensoren moet een onderscheid worden gemaakt tussen sensoren in de stal en voor buitenluchtmetingen. De sensor zal zodanig moeten worden beschermd dat een langere levensduur mogelijk is. De variërende klimaatcondities in stallen stellen hoge eisen aan de robuustheid van de sensoren. In de buitenlucht kan de nauwkeurigheid voor het meten van lage concentraties een probleem zijn. In de stal is een oordeelkundige behandeling van de sensoren belangrijk. Als een lege afdeling wordt gereinigd, dienen de sensoren uit de afdeling te worden geplaatst. Anders is de kans groot dat de CO₂ en NH₃ sensoren het begeven.

Bij sensoren die buiten worden geplaatst is het te overwegen een GPS in te laten bouwen. Bij het buiten meten zijn meetgegevens over windsnelheid en -richting van belang voor het kunnen interpreteren van de gegevens. Hier zijn sensoren voor beschikbaar, maar tevens kan gebruik gemaakt worden van internet gebaseerde klimaatgegevens die per uur worden geactualiseerd.

NH₃, H₂S, en CO₂ sensoren voor toepassing in en rondom de stal zijn beschikbaar, en geschikt voor inzet in een *realtime* monitoringssysteem. Sensoren voor langdurige continue meting van stofconcentraties hebben problemen met de hoge concentraties in pluimveestallen. Voor geur is het van belang de gassen per diercategorie vast te stellen, die een goede afspiegeling zijn van de vrijkomende geur in de betreffende situatie. Zwavelverbindingen komen in relatief hoge concentraties voor bij varkens en pluimvee, azijnzuur bij varkens en rundvee, boterzuur bij varkens, ammoniak bij pluimvee, varkens en rundvee. Deze stoffen kunnen met zogenaamde PID sensoren worden gemeten. Daarbij is van belang PID sensoren te gebruiken die voldoende nauwkeurig zijn om lage concentraties van minder dan 1-2 ppm te meten. Stofconcentraties worden gemeten met gravimetrische en on-line metingen. Met behulp van gravimetrische metingen wordt de gemiddelde

stofconcentratie over een meetperiode, bijvoorbeeld een of enkele etmalen, gemeten. Real time metingen geven inzicht in het verloop van de stofconcentratie gedurende de meetperiode. Omdat er vrij veel variatie bestaat tussen de stofconcentraties op verschillende dagen, wordt ernaar gestreefd om per meetplaats minimaal twaalf dagen achter elkaar te meten.

Gegevensbereik van stoffen in en rondom stallen

Locatie	Parameter	Gegevensbereik (95% alle waarden)		
		Melkvee	Varkens	Pluimvee
Stallucht	NH ₃ (ppm)	0 : 7	0 : 21	0 : 31
	CO ₂ (ppm)	450 : 1037	500 : 3590	700 : 3128
	PM ₁₀ (mg/m ³)	0,01 : 0,08	0,15 : 1,50	0,25 : 4,98
	PM _{2,5} (mg/m ³)	0,00 : 0,02	0,01 : 0,09	0,03 : 0,59
Buitenlucht	NH ₃ (ppm)	0 : 1	0 : 1	0 : 2
	CO ₂ (ppm)	350 : 679	350 : 705	400 : 611
	PM ₁₀ (mg/m ³)	0,01 : 0,04	0,01 : 0,07	0,00 : 0,16
	PM _{2,5} (mg/m ³)	0,00 : 0,02	0,00 : 0,03	0,00 : 0,03

Bron: Wageningen Livestock Research (2018) StalSens-Oren: meetsystemen voor bedrijfs-monitoring van emissies in de veehouderij.

Een eenvoudige doch doeltreffende manier om te bepalen in hoeverre verschillende sensoren overeenkomende meetwaarden vertonen is het normaliseren. Dit kan worden uitgevoerd door een aantal sensoren naast elkaar te plaatsen en na te gaan in hoeverre de meetwaarden overeenkomen.

7. Vertalen data naar informatie

De ruwe data die door de sensoren worden opgeleverd moeten vertaald worden naar bruikbare informatie voor het doel. Er zijn verschillende vormen van informatie en automatische alarmering mogelijk, afhankelijk van de behoefte aan inzicht in het verloop van de concentratie over de tijd dan wel of de concentratie binnen een bepaalde bandbreedte blijft.

Door sensoren in te zetten met een hoge meetfrequentie is het beter mogelijk om na te gaan of eventuele veranderingen in de meetwaarden te relateren zijn aan bepaalde handelingen op bepaalde tijdstippen. Voor gassen is een meetfrequentie van elke tien minuten voldoende. Er zijn sensoren die deze meetwaarden via wifi doorgeven, dan wel via het LoRa netwerk. In beide gevallen kan de gebruiker op zijn PC, tablet of Smartphone deze waarden aflezen. Voor metingen in de stallen is het LoRa netwerk geschikter dan wifi, vanwege de betere connectiviteit.

8. Minimumeisen meetbereik sensoren

Eisen aan nauwkeurigheid en meetbereik voor sensoren zijn in onderstaand overzicht opgenomen.

Bereikeisen aan sensoren

	In de stal		Buiten de stal	
	Nauwkeurigheid	Meetbereik	Nauwkeurigheid	Meetbereik
CO ₂	250 ppm	400 – 10.000 ppm	250 ppm	400 – 1.000 ppm
NH ₃	0,5 ppm	2 – 100 ppm	0,5 ppm	1,5 – 25 ppm
H ₂ S	1 ppb	max. 100 ppm	1g. ppb	max. 100 ppm
VOS ⁴	1 ppb	1 – 10.000 ppb	1 ppb	1 – 10.000 ppb

⁴ Zie voor een uitgebreide review: Laurent Spinelle, Michel Gerboles, Gertjan Kok, Stefan Persijn and Tilman Sauerwald (2017) Review of Portable and Low-Cost Sensors for the Ambient Air Monitoring of Benzene and Other Volatile Organic Compounds

Fijnstof	0,3 – 15 µm	PM ₁₀ <4000 µg/m ³	0,3 – 15 µm	PM ₁₀ <1000 µg/m ³
----------	-------------	--	-------------	--

9. *Minimumeisen kwaliteit sensoren*

De belangrijkste eisen aan sensoren bij real time metingen zijn hierna weergegeven:

- Opgave van meetbereik, en vanaf welke concentratie nauwkeurig wordt gemeten
- Specificatie voor interferentie met externe factoren (temperatuur, luchtvochtigheid)
- Met kalibratie data (eventueel met kalibratie gasbuisje)
- PID sensor met lamp van minimaal 10,6 eV
- Driemaandelijke controle en waar nodig herijking, en schoonmaken van de PID sensor-lamp, tenzij de fabrikant uitdrukkelijk anders aangeeft
- Specificatie fabrikant over driftgedrag sensor
- Meetfrequentie
- Opslag en verwerking data

10. *Minimum projecteisen*

Hieronder volgen de minimumeisen waaraan een project moet voldoen om in aanmerking te komen voor subsidie onder de steunregeling “Pilot meten op bedrijfsniveau”. De aanvrager dient bovenal een meetplan aan te leveren dat ter beoordeling aan de Provincie Limburg wordt aangeboden. In dit meetplan dienen ten minste aan de volgende eisen worden voldaan:

- De real time meetinstrumenten voor buiten de stal moeten minimaal vier sensoren bevatten: ammoniak, H₂S, VOS, fijnstof en relatieve luchtvochtigheid. Fijnstof metingen moeten samen gaan met metingen van de luchtvochtigheid. Voor binnen de stal moeten de meetinstrumenten ook CO₂ en temperatuur meten. Optioneel kunnen de instrumenten ook nog een sensor bevatten die concentraties meet van CH₄ en een sensor voor luchtdruk.
- De metingen dienen betrouwbaar te zijn. Er dient een ijkingsprotocol aanwezig te zijn dat de betrouwbaarheid van de metingen waarborgt. Er dient aangegeven te worden hoe nauwkeurig de sensoren zijn. Tijdens onderhoud moeten de “as found” en “as left”-waardes geregistreerd worden. De metingen moeten herleidbaar zijn (Wat is er gemeten? Hoe is er gemeten? Wat waren de omstandigheden?). Handreikingen hiervoor zijn gedaan in paragraaf 4 van deze technische leidraad.
- De plaats van de meting is belangrijk. Een plaatsingsprotocol aanwezig te zijn waaruit blijkt dat de meetinstrumenten op een passende plaats staan. Enkele handreikingen hiervoor zijn gedaan in paragraaf 5 van deze technische leidraad.
- De metingen dienen transparant te zijn. Er dient te worden aangegeven hoe de meetgegevens opgeslagen worden en voor hoe lang, hoe deze gegevens breed opvraagbaar zijn en hoe deze in begrijpelijke termen overzichtelijk gepresenteerd worden.