

Ervaringsverslag meet- en evaluatiemethodes

Varkens

7 juli 2026



Hoog
mikken voor
de lage landen!

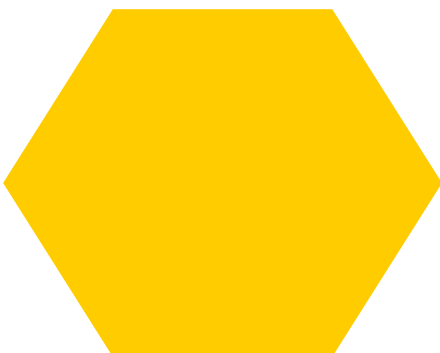
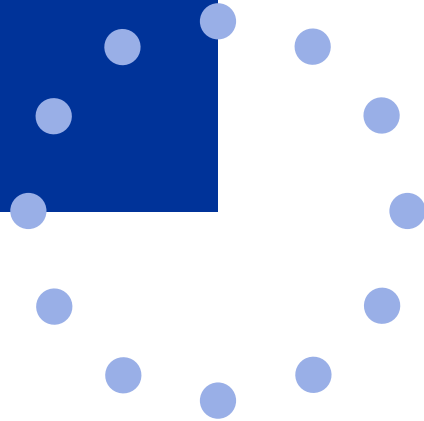
grensregio.eu

Inhoud

1. Inleiding.....	4
1.1 Doel.....	5
1.2 Beschrijving meetsystemen	5
1.2.1LVO Varkenscampus	5
1.2.2De Hoeve dagontmesting bij vleesvarkens.....	5
1.2.3De Hoeve vrijloopkraamhokken met dagontmesting	6
1.3 Beschrijving proefopzet.....	6
1.3.1LVO Varkenscampus	6
1.3.2De Hoeve dagontmesting bij vleesvarkens.....	6
1.3.3De Hoeve vrijloopkraamhokken met dagontmesting	6
2. Praktische uitvoering ventilatiemetingen.....	8
2.1 Meetwaaiers.....	9
2.1.1Installatie en opstart.....	9
2.1.2Ervaringen tijdens emissiemetingen	9
2.2 Klimaatcomputer	11
2.2.1Installatie en opstart.....	11
2.2.2Ervaringen tijdens emissiemetingen	11
2.3 CO ₂ -balans methode.....	12
2.3.1Installatie.....	12
2.3.2Ervaringen tijdens emissiemetingen	13
2.4 Vergelijking van de verschillende ventilatiemeetmethoden	13
3. Praktische uitvoering concentratiemetingen	15
3.1 Gas analyzer.....	16
3.1.1Installatie en opstart.....	16
3.1.2Ervaringen tijdens emissiemetingen	16
3.2 Passieve sensoren.....	17
3.2.1Installatie en opstart.....	17
3.2.2Ervaringen tijdens emissiemetingen	17
3.3 Vergelijking van de verschillende concentratiemeetmethodes	18
4. Logging van bijkomende (dier)gegevens	20
4.1 Individuele dieropvolging via RFID	21

4.2	Logging spoelcomputer bij dagontmesting	21
5.	Dataopslag en -verwerking	22
5.1	Installatie en opstart.....	23
5.2	Ervaringen tijdens emissiemetingen	23
6.	Praktische uitvoering evaluaties	25
6.1	Ervaringen met betrekking tot de gebruikte evaluatiemethode	26
7.	Conclusies	27
7.1	Conclusies	28
8.	Referenties.....	29
8.1	Referenties.....	30

1. Inleiding



1.1 Doel

Het project RAMBO staat voor Reductie van Ammoniak via Brongerichte en flankerende Oplossingen. In dit project is ingezet op innovatieve maatregelen en technieken om aan de ammoniakemissienormen voor de varkens- en pluimveesector te voldoen en wil bijdragen aan betere luchtkwaliteit in de grensregio.

Het doel van dit ervaringsverslag voor meetmethoden en -technieken is het documenteren van de ervaringen die opgedaan werden tijdens de emissiemetingen in varkensstallen binnen het RAMBO-project. De metingen zijn uitgevoerd in de Varkenscampus (onderzoeks- en onderwijsstal van ILVO, UGENT en HOGENT) en bij Familiebedrijf Verhoeven (demoboerderij van De Hoeve). Hoewel de focus ligt op de praktische inzichten rond het gebruik van emissiemeetmethodes en -technieken, is er ook een deel toegevoegd over opvolging van andere gegevens, zoals individuele diergegevens. De inzichten en ervaringen die opgedaan werden op beide locaties worden waar mogelijk zoveel mogelijk samengevoegd.

Bij de Varkenscampus is het belangrijk om te weten dat de emissieproeven die uitgevoerd werden altijd vergelijkende proeven waren, waarbij 2 of meerdere zeer gelijke afdelingen met gelijke sensoren uitgerust werden en tegelijk gebruikt werden om emissieverschillen tussen een bepaalde behandeling en de controle te bepalen. Bij de vleesvarkens afdelingen van Familiebedrijf Verhoeven zijn de emissiemetingen minder vergelijkend opgesteld en meer gebruikt voor monitoring. Bij de vrijloopkraamhokken met dagontmesting werden geen emissiemetingen uitgevoerd. Hierbij werd in eerste instantie gewerkt aan de optimalisatie van het ontworpen vrijloopkraamhok met dagontmesting via de opvolging van individuele dierparameters en praktisch waarnemingen.

Dit ervaringsverslag onderscheidt zich van het verificatieverslag doordat het enkel de praktische ervaringen en inzichten documenteert die tijdens de stalmetingen werden bekomen. Hierdoor is het verslag eerder beschrijvend. Voor de gevolgde procedures en resultaten van de regelmatige kwaliteitscontrole van de sensoren kan het verificatieverslag per locatie (Varkenscampus en Familiebedrijf Verhoeven) geraadpleegd worden. Uit het ervaringsverslag kunnen wel nieuwe inzichten vloeien die gebruikt kunnen worden om de verificatiemethodes in de toekomst bij te sturen.

1.2 Beschrijving meetsystemen

1.2.1 ILVO Varkenscampus

De Varkenscampus is een gesloten bedrijf met afdelingen voor zeugen, biggen en vleesvarkens. De emissiemetingen gebeurden in de afdelingen van de vleesvarkens, omdat hiervan verschillende gelijke compartimenten aanwezig zijn met dezelfde stalinrichting die tegelijk gevuld kunnen worden met dieren voor een case-control vergelijking. Een uitgebreide beschrijving van de stalinrichting, de gebruikte meetopstelling en locatie van de sensoren is te vinden in het rapport "Technisch plan, ILVO Varkenscampus". Voor dit ervaringsverslag is het vooral van belang om te weten dat de meetopstelling voornamelijk bestaat uit sensoren om de pollutantconcentraties te meten en sensoren om de ventilatie van de afdeling te bepalen. Gasconcentraties (NH_3 , CO_2 en CH_4) aan de uitlaat en in de buitenlucht werden bepaald door middel van een Fourier Transform Infrarood gas analyser (FTIR). Er werden ook Drager XNodes onder de uitlaten gehangen voor NH_3 -concentratiemetingen in de afdelingen. Ventilaties konden op 3 manieren bepaald worden:

- 1) Met behulp van meetwaaiers, geïnstalleerd in de uitlaatkoker van elke afdeling
- 2) Op basis van de waarden van de klimaatcomputer van de stal
- 3) Op basis van de CO_2 -balansmethode (Pedersen et al., 2008)

1.2.2 De Hoeve dagontmesting bij vleesvarkens

Bij de emissiemetingen die uitgevoerd zijn in de vleesvarkensafdelingen met dagontmesting bij Familiebedrijf Verhoeven, werd de NH_3 - en CO_2 -concentratie, temperatuur en luchtvochtigheid continue gemeten. De emissies zijn berekend op basis van de continu gemeten ventilatiegegevens. Het is belangrijk om continue metingen te hebben om verschillen in emissies tussen seizoenen en tussen dag-nacht in beeld te krijgen. De afdelingen worden individueel met een mechanische ventilator geventileerd. Direct vóór een ventilator en in de ventilatiekoker kan de stallucht worden beschouwd als maximaal gemengd en homogeen, en daarmee representatief voor de lucht die de afdeling of stal op dat punt verlaat. Het ventilatiedebiet werd continu gemeten met een meetwaaier in de ventilatiekoker. De door de meetwaaier geregistreerde pulsen werden door de klimaatcomputer omgerekend naar het ventilatiedebiet (m^3/uur).



De gebruikte sensoren zijn:

- **CO₂ metingen:**
CO₂, DOL 119 meetbereik 0-10.000 ppm, signaal 4-20 mA
- **NH₃ metingen:**
DOL53, meetbereik 0-100 ppm, signaal 0-10V
- **Temperatuur en luchtvochtigheid:** DOL 114, signaal 4-20 mA

1.2.3 De Hoeve vrijloopkraamhokken met dagontmesting

Bij de vrijloopkraamhokken met dagontmesting werden er elke ronde zes zeugen in de vrijloopkraamhokken geplaatst en werd de data van de zeug en haar biggen geregistreerd door middel van RFID-chips in het oormerk, gekoppeld aan het LeeO-systeem. Hierin worden zaken digitaal vastgelegd waaronder geboortedatum, vader, moeder, hok/afdeling, verplaatsingen, en gewichten. Ook zijn er praktische waarnemingen opgeschreven. Dit zijn dagelijkse taken zoals het toevoegen van strooisel in het biggennest, het schoonmaken van het biggennest, schoonmaken van de dichte vloer, of het schot en klep van het biggennest open is en of er extra voer is verstrekt. De afdelingstemperatuur, ventilatie percentage, de hoogste en de laagste buitentemperatuur zijn per dag genoteerd.

1.3 Beschrijving proefopzet

1.3.1 ILVO Varkenscampus

Binnen het RAMBO-project werden proeven opgezet in de Varkenscampus om emissiereducerende maatregelen te testen. Dit werd gedaan door meerdere vleesvarkensafdelingen tegelijk op te starten in naast elkaar gelegen afdelingen met varkens van eenzelfde leeftijd en gewicht. Vervolgens werden de afdelingen gedurende de vleesvarkensronde zoveel mogelijk gelijk behandeld, op de te testen maatregel na. Er was per proef telkens 1 controle-afdeling en tegelijk 2 andere afdelingen waar telkens een andere emissiereducerende maatregel getest werd. In totaal werden 5 proeven gehouden, waarvan de eerste een verkennende voorproef was die startte tijdens de voorbereidingsfase in de stal, hierdoor zijn de meetmethoden niet helemaal gelijk aan de laatste 4 proeven en zijn er ook minder emissiegegevens beschikbaar door de voorbereidende werken in de stal.

- 1) November 2023 – Februari 2024: Voorproef zeolietenluchtfILTER
- 2) Juni 2024 – September 2024: Zeolieten als voederadditief en elektrolytenbalans als voederadditief
- 3) Januari 2025 – April 2025: 2 verschillende (mestput)additieven
- 4) Juni 2025 – September 2025: Zeolieten als voederadditief en elektrolytenbalans als voederadditief
- 5) November 2025 – Februari 2026: Yucca als voederadditief

De specificaties en resultaten van deze proeven kunnen teruggevonden worden in de evaluatieverslagen per maatregel. In de komende hoofdstukken wordt vooral ingegaan op de technische kant van de metingen en de overkoepelende ervaringen en inzichten die opgedaan werden tijdens de proeven.

1.3.2 De Hoeve dagontmesting bij vleesvarkens

Gedurende de periode van januari 2023 tot en met oktober 2025 zijn er continue sensormetingen uitgevoerd in acht vleesvarkensafdelingen waarbij dagontmesting is geïnstalleerd. Hiervan zijn er vier afdelingen met 60% dichte vloer. Drie afdelingen hebben 40% dichte vloer. Daarnaast werd er ook één afdeling bemeten dat ingericht is zoals een traditionele vleesvarkensstal met 50% dichte vloer en een diepe mestput.

1.3.3 De Hoeve vrijloopkraamhokken met dagontmesting

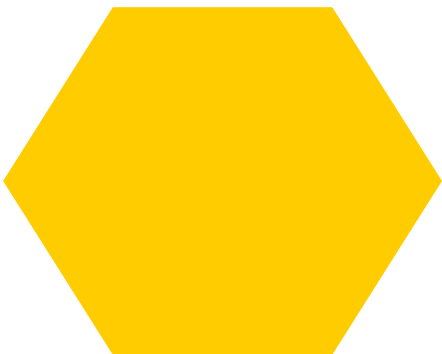
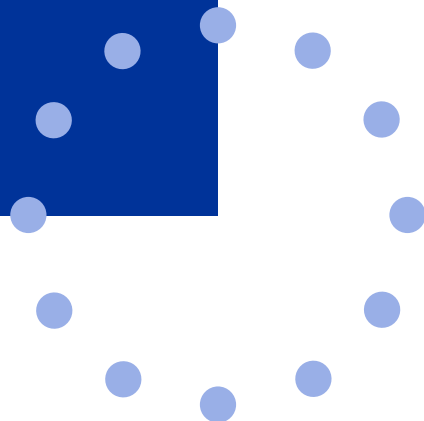
In het voorjaar van 2025 werd de afdeling met zes vrijloopkraamhokken in gebruik genomen. Tijdens het project zijn acht rondes uitgevoerd, waarvan vijf rondes zijn gebruikt voor de data-analyse. Zeugen werden één week voor het werpen in



een vrijloopkraamhok geplaatst en verbleven daar gedurende zes weken. De laatste ronde vond plaats in het voorjaar van 2026.



2. Praktische uitvoering ventilatiemetingen



2.1 Meetwaaiers

2.1.1 Installatie en opstart

Meetwaaiers zijn een standaardmethode voor ventilatiebepalingen in ronde uitlaten. Bij iedere omwenteling genereert een meetwaaier een aantal pulsen, die continu door de klimaatcomputer worden geregistreerd. Deze pulsen werden vervolgens omgerekend naar een ventilatiedebiet, uitgedrukt in kubieke meters per uur (m³/uur). Dit was het geval bij de vleesvarkensafdelingen van De Hoeve. In de Varkenscampus bevatte het standaard klimaatsysteem geen meetwaaiers en werden de meetwaaiers (Stienen SMV45) achteraf toegevoegd aan de uitlaat in de afdelingen. De meetwaaiers werden niet gekoppeld aan het klimaatsysteem, maar bleven een aparte, onafhankelijke controle. Op de Varkenscampus werden de gemeten frequenties door de meetwaaiers elke halve minuut gelogd en doorgestuurd naar een aparte databank waar de sensorgegevens van de stal verzameld werden (zie Hoofdstuk 5).

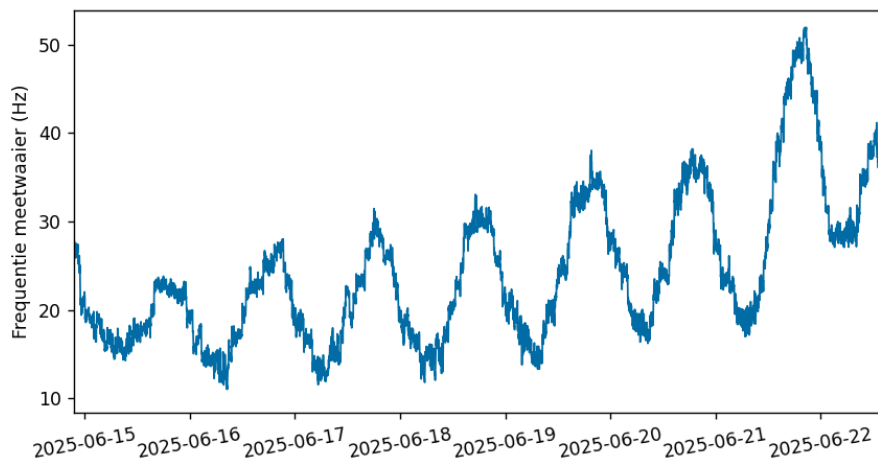
2.1.1.1 Praktische aandachtspunten bij installatie

- Een meetwaaier moet altijd de juiste afmetingen hebben voor de diameter van de uitlaatbuis waarin deze geïnstalleerd wordt.
- Een meetwaaier moet altijd vrij kunnen draaien. Er mogen geen belemmeringen zijn waar de meetwaaierbladen tegen zouden kunnen botsen. Meetwaaiers moeten dus ook regelmatig schoongemaakt worden om te vermijden dat stof, spinnenwebben en andere zaken zich ophopen en zo de draaibeweging van de meetwaaier belemmeren.
- Een meetwaaier wordt best in een stabiel stuk van de uitlaat geplaatst, niet te dicht bij luchtverstoringen, zoals kleppen of bochten. De meeste meetwaaiers worden aan het begin van de uitlaat geplaatst.
- Plaats een meetwaaier nooit aan het einde van de uitlaat of te dicht bij een ventilator, aangezien verstoringen van de lucht door bijvoorbeeld windinstag de metingen kunnen verstoren.
- Om de gemeten pulsen door de meetwaaier om te zetten naar een ventilatie moet de meetwaaier eerst gekalibreerd worden. Daarna wordt de meetwaaier best regelmatig gecontroleerd om te kijken of de bekomen omzettingsformule nog steeds toepasbaar is. Meer informatie over hoe dit proces kan verlopen is terug te vinden in de Verificatierapporten.

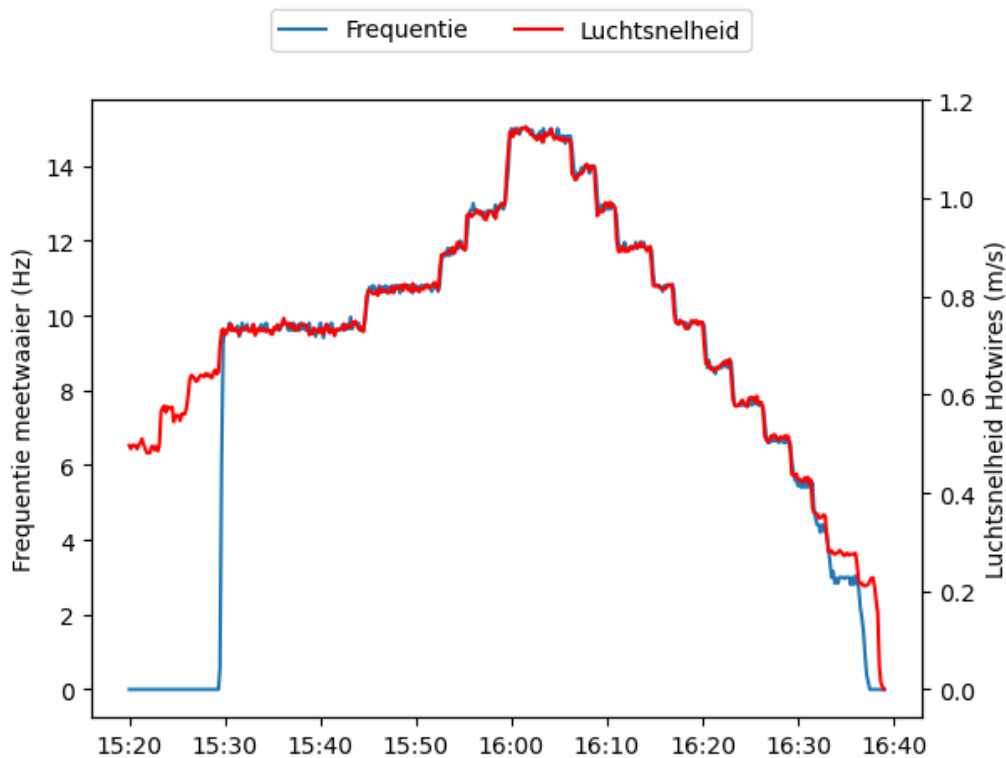
2.1.2 Ervaringen tijdens emissiemetingen

Ventilaties in een vleesvarkensstal kunnen sterk veranderen doorheen de dag (Figuur 1). In de windtunnel die gebruikt werd voor kalibraties op ILVO toonden de meetwaaiers een sterke en snelle reactie op veranderde ventilatiesnelheden. Een grote technische limitatie is echter de detectielimiet van de meetwaaiers. Dit is de laagste luchtsnelheid die nodig is om de meetwaaier vanaf stilstand in beweging te krijgen en dit was ook de ondergrens voor de bepaling van de ventilaties in de stal (Figuur 2). Eens de meetwaaier draait is het wel mogelijk om aan lagere ventilaties te meten, maar de fout op de metingen wordt groter naarmate de luchtsnelheid daalt en is niet meer lineair ten opzichte van de metingen bij hogere ventilaties. Daarom werd beslist om veiligheidshalve alle ventilatiemetingen onder de detectielimiet te verwijderen. Dit is een grote limitatie aan het gebruik van de meetwaaiers, vooral in het begin van de ronde in de winterperiode, waarbij typisch weinig geventileerd wordt.





Figuur 1. Frequenties gemeten door een meetwaaier in de uitlaat van een vleesvarkensafdeling gedurende 1 week.



Figuur 2. Bepaling van de detectielimiet van de meetwaaiers tijdens de kalibratie in de windtunnel.

Over het algemeen deden zich weinig problemen voor met de meetwaaiers tijdens de emissiemetingen. Data op ILVO ontbrak enkel wanneer er zich problemen voordeden met het loggingssysteem door ontbreken van internetverbinding, stroompanne en eventuele nood aan heropstart erna of problemen met de databank (deze worden verder besproken in Hoofdstuk 5). De enige periode waarbij de meetwaaiers zelf problemen gaven was in de zomer van 2024, wanneer de voeding van de meetwaaiers kapot was. Door onstabiele stroomvoorziening naar de meetwaaiers toe werden er telkens bij het wegvallen van de stroom geen pulsen ontvangen van de meetwaaiers en werd verkeerdelijk een nulwaarde geregistreerd. Dit zorgde voor fouten in de metingen en periodes met een ventilatie van 0 m³/h. Hierbij moet als aandachtspunt meegegeven worden dat er fouten in de meetgegevens kunnen optreden wanneer het meetsysteem gemiddeldes registreert over een bepaalde periode in plaats van de momentane waarde. Bij gemiddeldes worden nulwaarden en de werkelijke ventilatie uitgemiddeld tot een lagere (foutieve) ventilatiewaarde. De periodes waarin deze problemen zich voordeden werden uit de data verwijderd.

2.2 Klimaatcomputer

2.2.1 Installatie en opstart

Een klimaatcomputer is standaard aanwezig in een vleesvarkensstal, hier is dus geen verdere installatie voor nodig. Een klimaatstelsel regelt de ventilatie in de stal, vaak op basis van een ingesteld temperatuurscurve. In de Varkenscampus gebeurt de ventilatie voor de hele vleesvarkensstal via grote ventilatoren in de zolderruimte boven de afdelingen. Deze zorgen voor onderdruk in de afdelingen en trekken zo de lucht via de uitlaten van de afdelingen. Om de ventilatiesnelheid per afdeling verder te regelen bevinden zich kleppen in de uitlaten. Op basis van de stand van deze kleppen en de gemeten onderdruk bepaald het ventilatiesysteem het debiet. Bij Familiebedrijf Verhoeven waren de meetwaaiers deel van het klimaatstelsel.

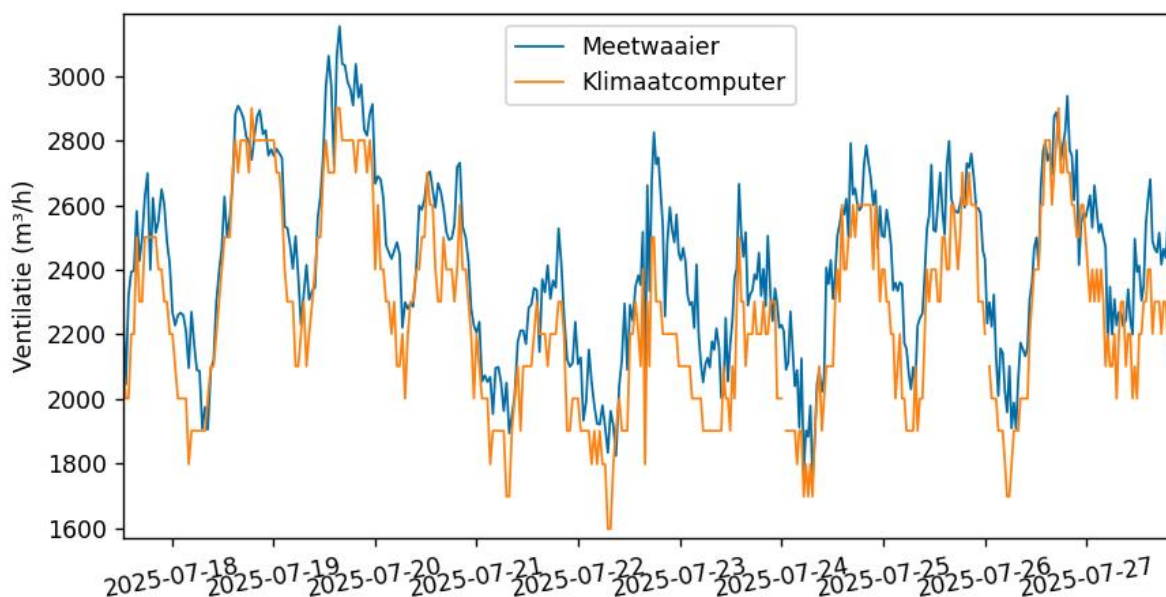
2.2.1.1 Praktische aandachtspunten bij installatie

Een aandachtspunt bij klimaatcomputers is het registreren en bewaren van de gegevens. Vaak worden de gegevens (waaronder niet enkel de ventilatie, maar ook de temperatuur in de afdelingen en buitentemperatuur) sporadisch geregistreerd. Voor de Varkenscampus was dit elke 10 minuten. Daarnaast is het niet altijd evident om de gegevens van de klimaatcomputer op te slaan en voor een langere periode bij te houden. Op de stalcomputer van de Varkenscampus was er wel software aanwezig die de waarden lokaal in een bestand opsloeg. Dit bestand werd door een programma uitgelezen, zodat de gegevens naar de database van ILVO werden overgezet voor langdurige opslag, real-time monitoring en mogelijkheid tot terugkijken via een dashboard en gemakkelijke toegang tot de gegevens voor dataverwerking. Bij sommige klimaatssystemen is er wel logging van de waarden in een bestand, maar wordt dit bestand overschreven zodra een bepaald aantal meetpunten bereikt is. Ook in zo'n geval is het belangrijk om de gegevens ook ergens anders te bewaren, zodat er geen gegevens verloren gaan. Meer informatie over het databeheer voor emissie-monitoring is terug te vinden in Hoofdstuk 5.

2.2.2 Ervaringen tijdens emissiemetingen

De bepaling van de ventilatie door de klimaatcomputer in de Varkenscampus blijkt niet nauwkeurig genoeg voor vergelijkende emissiemetingen. Enerzijds komt dit doordat de ventilatie per percent geregistreerd wordt, wat overeenkomt met stappen van zo'n 37 m³/u. Anderzijds ontbreekt er een zelfcontrole-mechanisme. De ventilatie wordt geregeld via de registratie van de onderdruk in de afdeling, klepstand en de ventilatie van de grote ventilatoren in de zolderruimte. Vooral de klepstand lijkt hierbij voor problemen te zorgen, omdat de exacte afstelling van de kleppen van groot belang is, zeker bij lage ventilaties. Afhankelijk van deze afstelling per afdeling zullen er dus afdelingsspecifieke verschillen zijn tussen de werkelijke ventilatie en de geregistreerde ventilatie door de klimaatcomputer. Ook wanneer de kleppen blokkeren en niet effectief van stand veranderen, bijvoorbeeld door een kapotte klepmotor, of wanneer manuele wijzigingen doorgevoerd worden in de ventilatie van een afdeling, wordt dit niet geregistreerd. Wanneer de geregistreerde waarden vervolgens gebruikt worden voor ventilatiemonitoring en emissieberekeningen kunnen deze verschillen tussen de werkelijke ventilatie en de geregistreerde ventilatie wel voor problemen zorgen. Voor de start van de emissiemetingen werden de kleppen opnieuw ingeregeld, maar dit kon de verschillen niet volledig oplossen. Het gebruik van deze gegevens voor emissiemetingen en emissie-monitoring wordt daardoor afgeraden.





Figuur 3. Vergelijking van de ventilatiegegevens op de ILVO Varkenscampus gemeten door de klimaatcomputer d.m.v. klepstanden en drukverschillen en de meetwaaiers gedurende een periode van 10 dagen.

2.3 CO₂-balans methode

2.3.1 Installatie

De CO₂-balansmethode is een alternatieve methode waarbij geen rechtstreekse meting van de ventilatie gedaan wordt. De CO₂-balans methode maakt daarentegen gebruik van modellen die de warmteproductie en bijgevolg CO₂-productie van de varkens in de afdeling bepaalt (Pedersen & Sällvik, 2002; Pedersen et al., 2008). Op basis van deze verwachte productie (die een functie is van het aantal dieren, het gemiddeld gewicht van de dieren en de temperatuur in de afdeling) en de gemeten CO₂-concentraties binnen in de afdeling en in de buitenlucht wordt de ventilatie bepaald. Voor deze methode zijn dus CO₂-sensoren nodig, die binnen in de afdeling en in de ingaande buitenlucht opgehangen worden. Voor elke afdeling waarin de ventilatie bepaald wordt moet een CO₂-sensor aanwezig zijn, tenzij een gasanalyzer met meerdere aanzuigleidingen gebruikt wordt (zie Hoofdstuk 3).

2.3.1.1 Praktische aandachtspunten bij installatie

- De locatie van de CO₂-sensoren in de stal is van groot belang voor de bepaling van de ventilatie. Dit meetpunt moet representatief zijn voor de lucht die de afdeling verlaat. In een mechanisch geventileerde stal met 1 uitlaat is dit relatief eenvoudig door de sensor aan de uitlaat te hangen. Voor afdelingen met meerdere uitlaten of stallen met natuurlijke ventilatie kan het moeilijker zijn om een representatief punt te vinden.
- Voor het bepalen van de ventilatie via het model van de CO₂-balansmethode zijn meerdere variabelen nodig, zoals de afdelingstemperatuur, gewicht van de dieren, etc. Deze data moeten ofwel ter plaatse verzameld worden, of er moeten standaard tabellen gebruikt worden. Elke afwijking van de werkelijke situatie ten opzichte van deze tabellen kan zorgen voor afwijkingen in de gemodelleerde ventilaties.
- Extra CO₂-bronnen in de afdeling, bijvoorbeeld door verwarmingstoestellen, moeten vermeden worden. Ook een grote mestvoorraad in de mestput is een bron van CO₂ die in de huidige modellen onvoldoende meegenomen wordt. De huidige modellen gaan uit van een maximale mestopslagperiode van 3 weken.



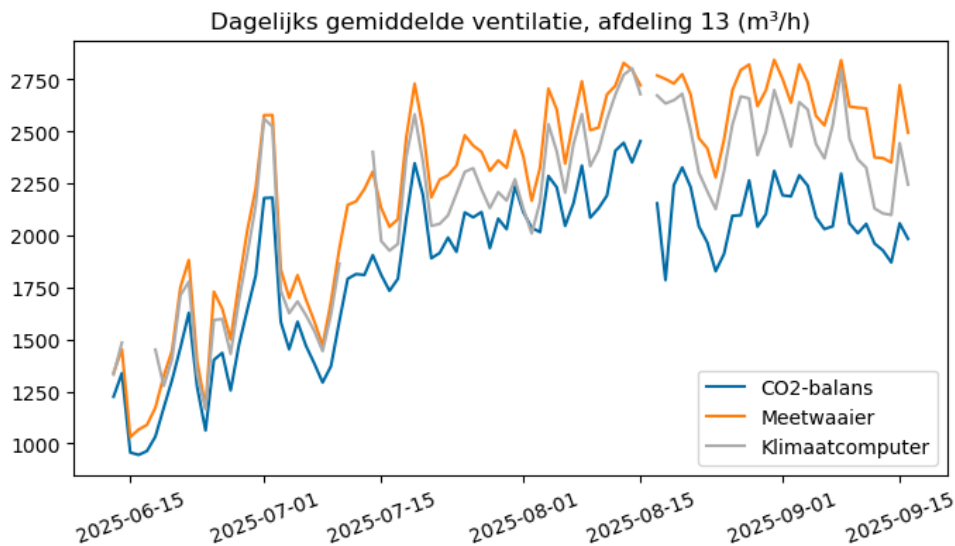
2.3.2 Ervaringen tijdens emissiemetingen

De technische problemen die zich kunnen voordoen in de stal ten gevolge van problemen met de CO₂-metingen worden verder besproken in Hoofdstuk 3. Verder zijn aandachtspunten alles wat CO₂ kan produceren in de stal, of wat de CO₂-productie van de dieren kan veranderen. Zeker wanneer in case-control setting gemeten wordt kan een effect op de CO₂-productie dat zich maar in 1 van de afdelingen voordoet een noemenswaardige fout veroorzaken in de berekende ventilatie, die achteraf foutief gezien kan worden als een verschil in emissies tussen de afdelingen, wat dus ten allen tijde vermeden dient te worden. Daarnaast wordt de CO₂-balansmethode gebruikt op dagniveau en is deze methode moeilijker toepasbaar voor emissie-monitoring op uur of minuutwaarde. Er zijn methodes beschikbaar om de modellen aan te passen naar uurniveau via een activiteitscurve. Hierbij moet rekening gehouden worden dat deze standaard activiteitscurve kan afwijken van de werkelijke situatie. Voorzichtigheid is dus geboden bij gebruik van deze modellen voor emissie-monitoring op kleine tijdsschaal. Tot slot is de CO₂-balans methode voor ventilatiebepaling moeilijker te automatiseren en in real-time te bepalen, door de complexiteit van de formules en de vele variabelen die gecombineerd moeten worden om de CO₂-productie van de dieren en vervolgens de ventilatie te bepalen.

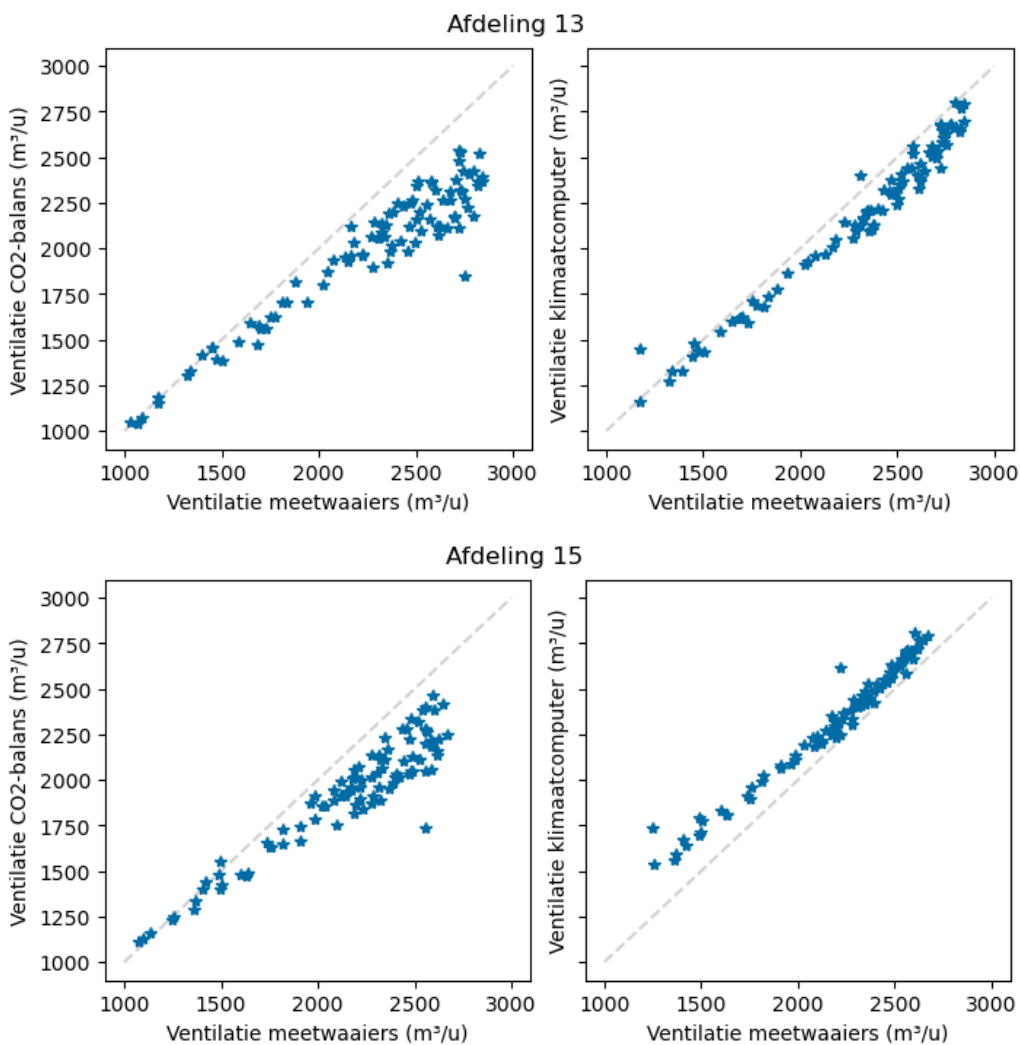
2.4 Vergelijking van de verschillende ventilatiemeetmethoden

Tijdens het RAMBO-project werd de ventilatie in de ILVO Varkenscampus op 3 verschillende manieren bepaald. Wanneer we deze gegevens naast elkaar leggen voor dezelfde afdeling in dezelfde vleesvarkensronde, is het geruststellend om te zien dat de dagelijkse trends tussen de verschillende methodes over het algemeen zeer gelijkaardig zijn en de Pearson correlaties groot zijn (> 0.90). Uitschieters komen vooral voor als bij 1 van de methoden een deel van de data mist of wanneer er zich uitzonderlijke gebeurtenissen voordoen. Toch treden op vlak van absolute waarde belangrijke verschillen op tussen de verschillende methodes. Voor de CO₂-balansmethode toont de vergelijking met de meetwaaiergegevens vaak een gelijkaardig patroon tussen verschillende afdelingen, waarbij bij lage ventilaties (vaak aan het begin van de ronde), de ventilaties goed overeenkomen. Bij hogere ventilaties (later in de ronde), toont de CO₂-balansmethode eerder een onderschatting van de ventilatie in vergelijking met de ventilatie bepaald door de meetwaaiers. Dit heeft waarschijnlijk voor een groot deel te maken met de bijdrage van de CO₂-emissies uit de mestput. De formules van Pedersen & Sällvik (2002) houden enkel rekening met mestopslag van minder dan 3 weken. In de praktijk is de mestopslag vaak (veel) langer, afhankelijk van het ontwerp van de stal, de diepte van de mestput en de seizoenen. De correlatie tussen de metingen van de klimaatcomputer en de meetwaaiers in dezelfde afdelingen zijn meestal groter dan de correlatie tussen de CO₂-balans methode en de meetwaaiers, maar het patroon tussen verschillende afdelingen kan dan weer sterk variëren, zoals aangetoond voor 2 afdelingen in Figuur 5. Dit komt door de specifieke afstelling van de kleppen van de uitlaat in elke afdeling, die zelfs na extra afregeling nog belangrijke verschillen kunnen vertonen. Wel is het, indien er geen storingen zijn met de motorklep en er geen manuele instelling was van de ventilatie, mogelijk om de werkelijke ventilatie van een afdeling te benaderen via een lineair of licht sigmoïdaal model tussen de metingen van de meetwaaiers en die van de klimaatcomputer.





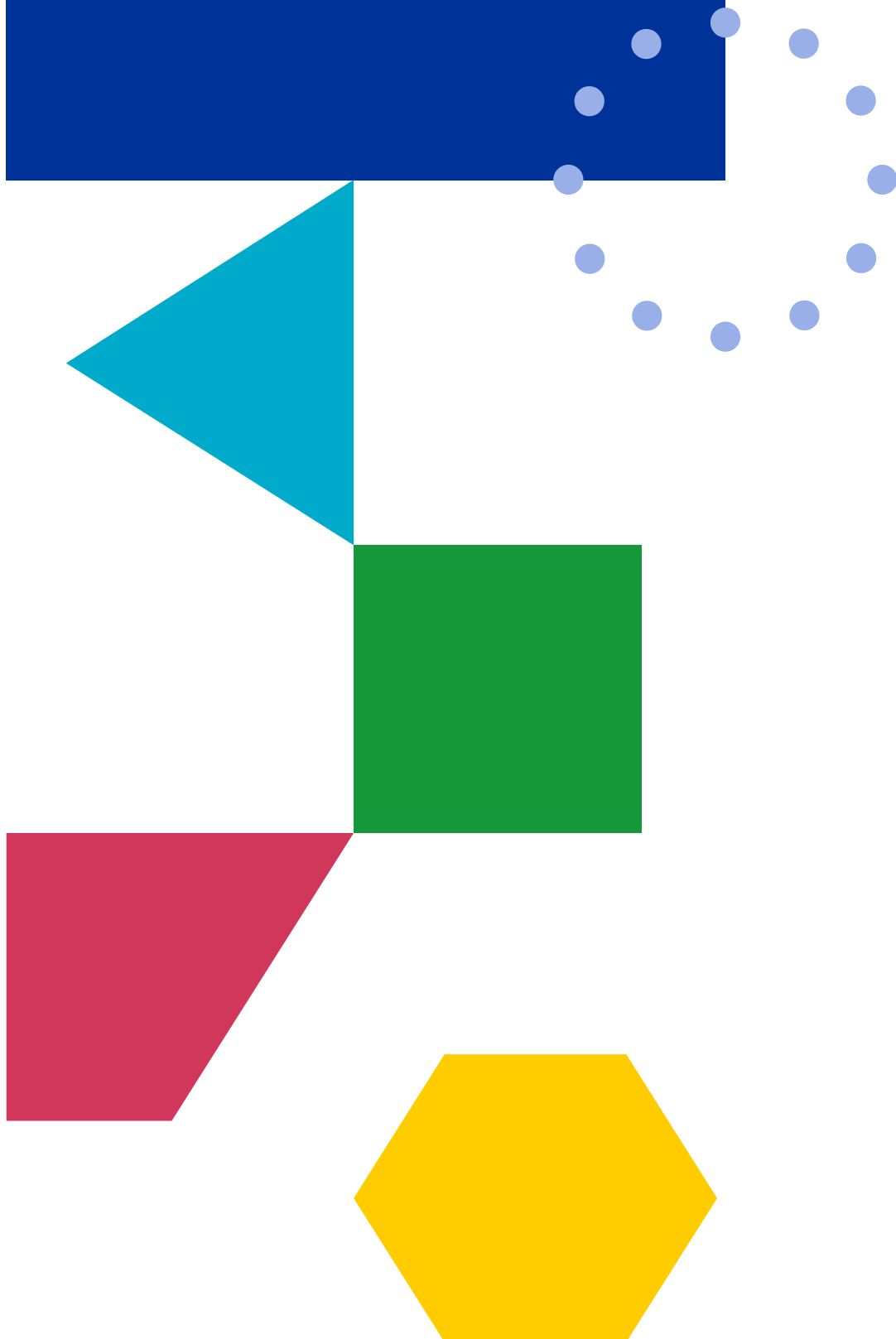
Figuur 4. Vergelijking van de dagelijkse gemiddelde ventilaties voor 1 afdeling op de ILVO Varkenscampus gedurende 1 vleesvarkensronde in de zomer, bepaald op 3 verschillende manieren.



Figuur 5. Vergelijking tussen de ventilatie gemeten door de meetwaaiers en de ventilatie bepaald via de CO₂-balansmethode (links) en de klimaatcomputer (rechts), voor 2 verschillende afdelingen op de ILVO Varkenscampus tijdens dezelfde vleesvarkensronde.



3. Praktische uitvoering concentratiemetingen



3.1 Gas analyzer

3.1.1 Installatie en opstart

Op de ILVO Varkenscampus is het voornaamste toestel voor concentratiemetingen de Fourier Transform InfraRed (FTIR) gas analyzer. Dit is een relatief groot toestel dat niet rechtstreeks in de stal, maar in een aparte ruimte, afgeschermd van de stallucht en -vervuiling, gehouden wordt. Om de lucht tot bij het toestel te krijgen werden Teflon leidingen aangelegd met als startpunt het aanzuigpunt onder de uitlaat van een afdeling en als eindpunt de gas analyzer. De lucht aan de uitlaat wordt continu afgezogen met behulp van een pompsysteem, maar omdat de analyzer maar 1 afdeling tegelijk kan analyseren, wordt de lucht van de verschillende afdelingen in een cyclus één voor één naar de analyzer gestuurd. Hierdoor is er geen volcontinue concentratiedata beschikbaar van een afdeling, maar worden er verschillende meetpunten genomen per dag. Er wordt getracht om altijd minstens één meetpunt per uur per afdeling te hebben. Naast de aanzuigpunten in de afdelingen is er ook een aanzuigpunt buiten dat bedoeld is om de achtergrondconcentratie in de buitenlucht (en dus ook ingaande lucht) te meten. Meer informatie over de opstelling is te vinden in het “Technisch plan ILVO Varkenscampus”.

3.1.1.1 Praktische aandachtspunten bij installatie

- De installatie van een gas analyzer, inclusief een pompsysteem en leidingen is een complexe en arbeidsintensieve ingreep in de stal die uitgevoerd dient te worden door specialisten. Het systeem moet tijdens de werking ook regelmatig opgevolgd en onderhouden worden.
- Doordat de stallucht afgezogen wordt aan de uitlaat en getransporteerd wordt via leidingen naar de gas analyzer, moet de lucht een heel traject afleggen. Een gevaar hierbij is dat de leidingen door koudere ruimtes lopen dan de afdeling of zelfs via de buitenlucht moeten lopen. Dit geeft grote kans op condensatie in de leidingen. Condensatie is vooral een probleem voor NH_3 -concentratiemetingen, omdat NH_3 oplost in water en er zo een onderschatting van de effectieve concentratie in de stal gebeurt. Anderzijds, op het moment dat de druppels weer verdampen of tot bij de gas analyzer aankomen, kunnen er zeer hoge pieken in NH_3 -concentratie gemeten worden. Daarnaast kan water dat in de gas analyzer terechtkomt zorgen voor (langdurige) schade aan het toestel. Daarom werden op de ILVO Varkenscampus alle leidingen in de aanzuigleidingen in de stal opnieuw aangelegd en werden de bundels van leidingen gegroepeerd, verwarmd via een verwarmingslint en geïsoleerd.
- Verstoppingen in de leidingen of luchtlekken door beschadigingen of slechte aansluitingen kunnen zorgen voor foutieve metingen. Door de druk in de leidingen continu te meten en op te volgen, kunnen zulke problemen sneller gedetecteerd worden.

3.1.2 Ervaringen tijdens emissiemetingen

De gas analyzer is een complex systeem, maar geeft – als alles goed werkt – stabiele en betrouwbare concentratiemetingen. Daarnaast meet het toestel niet enkel NH_3 , maar ook andere gassen zoals CO_2 en CH_4 , waardoor er maar 1 toestel nodig is voor het meten van meerdere locaties en meerdere gassen. Doordat alle afdelingen door het zelfde toestel bemeten worden, wordt ook vermeden dat er systematische verschillen in de metingen ontstaan door het gebruik van verschillende sensoren. Wel is het belangrijk dat er gedurende de meetcyclus voldoende lang gemeten wordt op elk kanaal (elke afdeling), zodat het toestel de tijd krijgt om te reageren op de soms snel veranderende concentraties, zeker wanneer er gewisseld wordt van een afdeling naar de buitenlucht. Dit is minder van belang voor gassen zoals CO_2 en CH_4 , maar zeer belangrijk voor NH_3 . NH_3 is een zeer plakkerig gas dat blijft plakken aan de binnenkant van de meetleidingen en zo goed als alle materialen. Daarnaast blijkt uit ervaring dat het belangrijk is om het FTIR toestel regelmatig te “spoelen” door buitenlucht te bemeten, om opbouw van NH_3 in het toestel te voorkomen. Hierbij kunnen patronen van opbouwende NH_3 -concentraties in de gemeten buitenconcentraties wijzen op problemen met het toestel die aangepakt moeten worden. Tijdens de metingen voor RAMBO waren er weinig problemen met de FTIR gas analyzer zelf. Ontbrekende periodes in de data komen eerder door stroomonderbrekingen, onbeschikbaarheid van het toestel zelf door onderhoud of gebruik voor andere doeleinden en door IT problemen. Enkel in de laatste ronde zorgde een luchtlek in 1 van de meetleidingen door een slechte luchtdichtheid van een koppeling voor onbruikbare data voor 1 afdeling. Verstoppingen in de leidingen of luchtlekken door beschadigingen of slechte aansluitingen kunnen vroegtijdig opgespoord worden door de druk in de leidingen continu te meten en op te volgen.



3.2 Passieve sensoren

3.2.1 Installatie en opstart

Naast de FTIR gas analyzer, die actief lucht aanzuigt, worden voor NH_3 -concentraties op de ILVO Varkenscampus ook mobiele passieve sensoren gebruikt. Dit waren Drager XNodes met FL en AL sensor element voor NH_3 . De XNodes zijn draadloze toestellen die gemakkelijk in de stal geïnstalleerd worden. De data vanop de toestellen wordt via het LoRa netwerk doorgestuurd naar de server van Drager zelf en kan gevisualiseerd en gedownload worden via een online dashboard (betalende functie). Op Familiebedrijf Verhoeven werd gebruik gemaakt van bekabelde Drager sensoren voor de opvolging van NH_3 - en CO_2 -concentraties en voor temperatuur en luchtvochtigheid. Deze data werden automatisch gelogd via het Encon registratiesysteem. Elke dag werd er een databestand aangemaakt op Onedrive, voor analyse. Elk bestand is een csv bestand met een meting per regel. Als aanbeveling kan het interessant zijn om ook methaan (CH_4) te meten met sensoren. Kostenefficiënte passieve sensoren hiervoor die technisch betrouwbaar zijn op dit moment echter niet gekend.

3.2.1.1 Praktische aandachtspunten bij installatie

- Draadloze toestellen hebben het voordeel dat ze zeer mobiel zijn en gemakkelijk verhangen kunnen worden. Het is wel belangrijk om de status van de batterij op te volgen, zodat de concentratiemetingen niet plots uitvallen.
- In stalgebouwen is verbinding met internet of LoRa vaak een probleem. In de Varkenscampus werd een extra gateway in de stal geïnstalleerd om verbindingsproblemen op te lossen.
- De locatie van de sensor heeft grote invloed op de gemeten concentraties en mogelijkheid tot het berekenen van emissies. Een sensor op dierhoogte biedt een ander beeld dan een sensor aan de uitlaat. Wanneer een sensor boven een bevuilde of natte vloer meet, zullen de concentraties hoger zijn en mogelijks niet representatief zijn voor de volledige afdeling.
- Bij bekabelde sensoren moet rekening gehouden worden met de omzetting van het elektrisch signaal. Wanneer de kabel naar de sensor langer wordt, verlaagd het aantal volts wat er doorheen wordt gestuurd wat invloed heeft op de meetwaarde.
- Het is belangrijk om de sensoren voor installatie te kalibreren en vervolgens regelmatig te controleren en te herkalibreren, omdat drift of andere technische problemen kunnen zorgen voor foutieve metingen die niet altijd detecteerbaar zijn.

3.2.2 Ervaringen tijdens emissiemetingen

Doordat de mobiele sensoren op de Varkenscampus continu in dezelfde afdeling bleven hangen, leverde dit een gedetailleerd beeld van de NH_3 -concentraties in de stal. Doordat elke sensor slechts 1 gascomponent (NH_3 , CO_2 of CH_4) meet en de sensor op 1 locatie blijft hangen, zijn meerdere sensoren nodig om een breed beeld te krijgen van de emissies in de stal of op meerdere locaties in de stal. Dit zal de kostprijs doen toenemen. Daarnaast heeft het sensorelement voor elektrochemische NH_3 -metingen een beperkte levensduur (aangegeven door de fabrikant, vaak 1 tot 2 jaar). Het is belangrijk voor juiste metingen om de houdbaarheid op te volgen en de elementen op tijd te vervangen. Gedurende het project waren geen wissels nodig bij de Varkenscampus. De sensoren bleven de volledige periode van juni 2024 tot en met februari 2026 goed werken. Bij de laatste kalibratie van de sensoren op VITO waren er echter enkele aanwijzingen dat verzadiging begon op te treden, met name door het verhogen van de detectielimiet en bijgevolg het verschijnen van een groter intercept in de kalibratievergelijking. Door de relatief hoge concentratiewaarden in de vleesvarkensstal wordt verwacht dat dit de sensor wel nog enkele maanden bruikbaar zouden kunnen zijn voordat het sensorelement vervangen dient te worden. Ook waren er aanwijzingen dat de sensoren een kleine drift (= systematische afwijking naar verloop van tijd) vertoonden, maar dit was slechts 5% over een periode van bijna 2 jaar. Meer informatie over de gevolgde stappen voor kalibratie en validatie van de sensoren kan teruggevonden worden in de Verificatierapporten.

De gebruikte passieve sensoren zijn echter niet geschikt voor metingen bij lage NH_3 -concentraties (< 1 ppm), zoals in buitenlucht. Dit zorgt ervoor dat er geen achtergrondconcentraties afgetrokken kunnen worden bij emissieberekening. Dit was niet van belang bij de emissiemetingen op de Varkenscampus. Door de relatief hoge stalconcentraties en lage buitenconcentraties zijn de achtergrondwaarden grotendeels verwaarloosbaar.



Doordat de dataverzameling van de XNodes op de Varkenscampus via het data platform van Drager verliep, was geen koppeling mogelijk met de database van ILVO (zie hoofdstuk 5). De data moest manueel gedownload worden. Technisch waren er zeer weinig problemen met de XNodes, de enkele (kortdurende) problemen die er waren deden zich voor bij stroomonderbrekingen of andere omstandigheden, waardoor de gateway niet werkte en de data dus niet doorgestuurd kon worden.

De ervaringen bij De Hoeve tonen het belang van continu monitoren van concentraties en emissies aan om een goed beeld te krijgen van de emissiepatronen op een bedrijf. Dit werd benadrukt door het observeren van piekmissies in de gegevens. Ook temperatuur en dag-nacht verschillen zijn een belangrijk factor voor het verhogen of verlagen van emissies. Daarom is het jaarrond meten belangrijk om een goede indruk te krijgen van wat de concentraties doen bij verschillen seizoenen. In het dagelijks management waren er echter nog onduidelijkheden over hoe om te gaan met de sensoren. Daarbij waren er vooral geen duidelijke afspraken rondom het onderhoud en reparatie van de sensoren. Ook de frequentie van het onderhoud was onduidelijk. De fabrikant zou hiervoor instructies kunnen opstellen. Ook gestandaardiseerde richtlijnen voor de installatie van sensoren om consistentie en betrouwbaarheid te waarborgen zijn nodig. Bij continue metingen is het bovendien cruciaal dat de sensoren functioneren en betrouwbare informatie geven. Een moment van uitval moet goed gedocumenteerd worden. Het instellen van drempelwaardes kan helpen om abnormale waardes vroeg te detecteren en om zo in te grijpen als dat nodig is. Dit voorkomt dat afwijkende waarden langdurig onopgemerkt blijven, wat niet ten goede komt voor de datakwaliteit. Voor de NH_3 -metingen namen de afwijkingen in de metingen nemen wat toe bij lage of bij hoge concentraties. Ook voor de CO_2 metingen bleken de sensoren wat minder nauwkeurig bij hogere concentraties. Voor emissieberekeningen op bedrijfsniveau lijkt dit effect echter beperkt. Een ander probleem dat meerdere keren opdook is plotselinge ruis in de sensorwaarden. In totaal kwam dit 11 keer voor, waardoor deze afwijkende meetwaarden verwijderd moesten worden. Een simpele oplossing voor de ruis op de metingen was de voeding kort uitschakelen. Ook periodiek kalibreren en onderhoud zorgen dat de data zuiver blijft.

Bij Familiebedrijf Verhoeven is er geen continue en nauwkeurige metingen gedaan voor de inkomende luchtstroom. In gebieden waar meerdere varkensstallen dicht bij elkaar staan, wordt het lastig om de gemeten ammoniakemissies toe te rekenen aan een individueel bedrijf. Hiervoor is een representatieve referentiewaarde nodig. Momenteel zijn de sensoren nog niet nauwkeurig genoeg om deze lage concentraties exact en stabiel te meten.

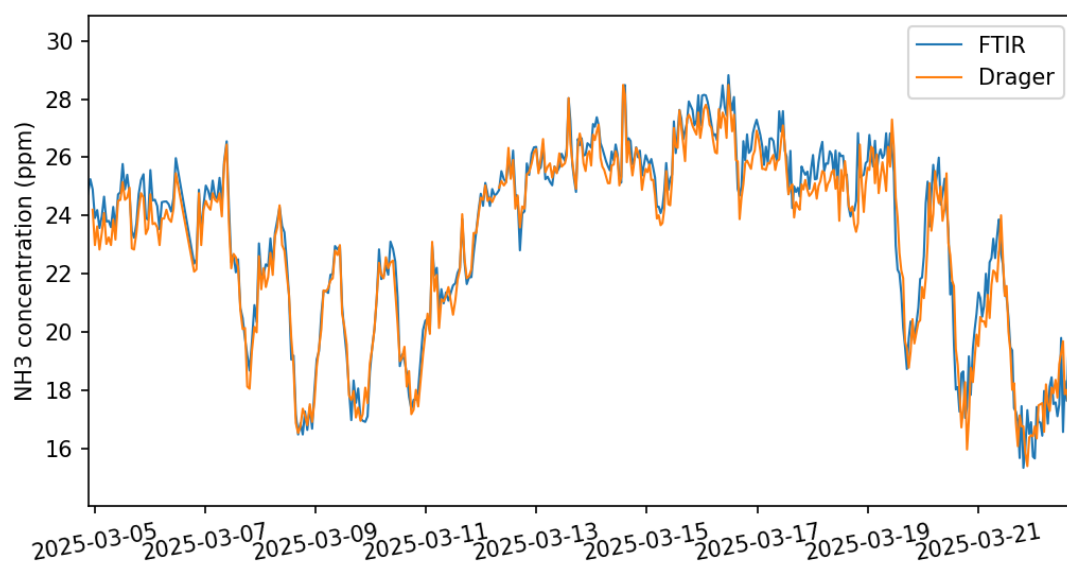
Bij Familiebedrijf Verhoeven was de beschikbaarheid van sensor data voor de NH_3 - en CO_2 -concentraties variërend van 76% tot 98% per afdeling beschikbaar in de meetperiode. De belangrijkste redenen waarom niet altijd alle data beschikbaar was door tijdelijke storingen, onderhoudswerkzaamheden, datafiltering en late installatie van sensoren. Wanneer er data ontbreekt is een waarschuwing of melding nodig om kwaliteit te garanderen.

3.3 Vergelijking van de verschillende concentratiemeetmethodes

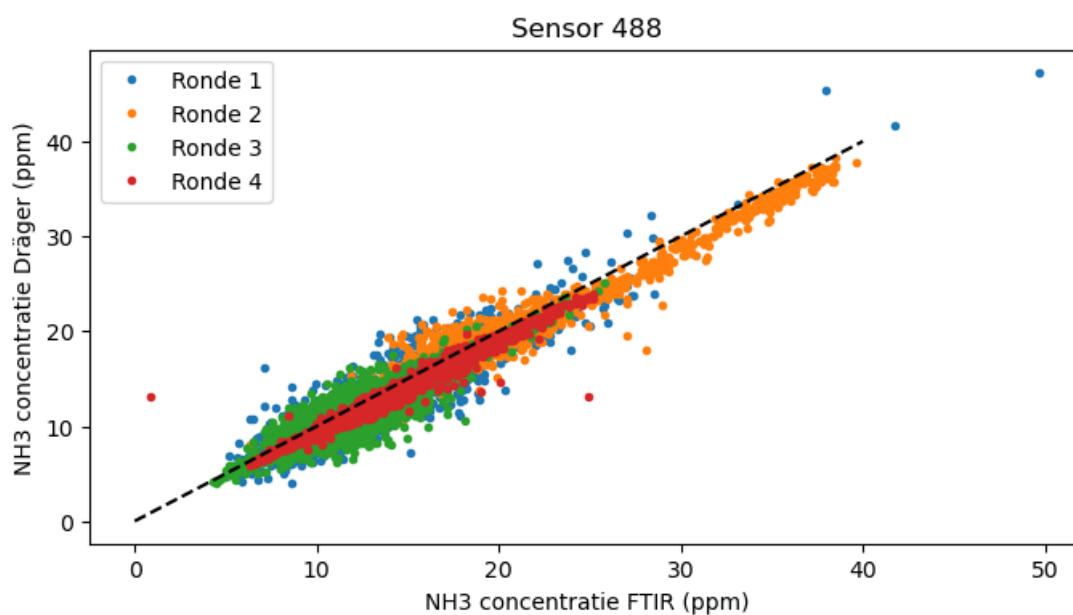
Door het gebruik van meerdere meetsystemen konden de metingen op de ILVO Varkenscampus met elkaar vergeleken worden. Na kalibratie van beide sensoren vertoonden de FTIR en de Drager XNodes meestal gelijkaardige waarden en patronen (Figuur 6), met een hoge Pearson correlatie van bijna 0,95 over alle rondes en sensoren heen. Opvallend genoeg waren de correlaties in de zomerrondes lager dan in de winterperiode. Dit komt waarschijnlijk door de grotere schommelingen in ventilatie en bijgevolg in de concentraties zelf.

In de eerste ronde traden na enkele dagen grotere, systematische afwijkingen op tussen de metingen door de XNodes en de FTIR. Het is onduidelijk wat dit veroorzaakt heeft. Mogelijks was dit een aanpassingsperiode aan de stallucht voor de nieuwe sensoren, of werden de sensoren niet dicht genoeg bij het meetpunt van de FTIR opgehangen, waardoor er systematische verschillen ontstonden. Vanaf de tweede ronde lagen de waarden van de FTIR en Dragers dichter bij elkaar, met een gemiddeld systematisch verschil van 0,35 ppm of 2,5%. Deze kleine systematische fout kan het gevolg zijn van verschillen in de kalibratieprocedures en/of de exacte plaatsing van de XNode ten opzichte van het aanzuigpunt van de FTIR. Figuur 7 illustreert de hogere spreiding op de emissiemetingen door beide sensoren in de zomerrondes (ronde 1 en 3) en de systematische iets lagere metingen van de XNode t.o.v. de FTIR gas analyzer na kalibratie, wat door de lagere spreiding meer opvalt in rondes 2 en 4.





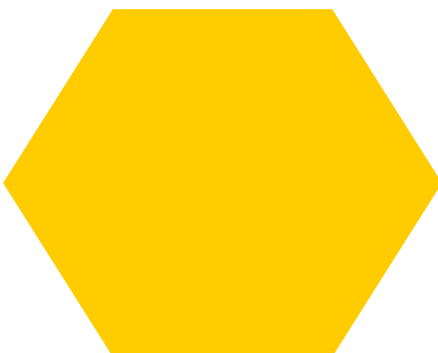
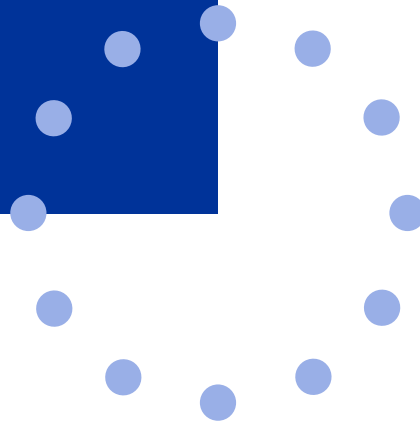
Figuur 6. Gelijktijdige NH₃-concentratiemetingen van FTIR en een Drager XNode na kalibratie.



Figuur 7. Vergelijking van de NH₃-concentraties gemeten door de FTIR en een Drager XNode gedurende meerdere rondes.



4. Logging van bijkomende (dier)gegevens



4.1 Individuele dieropvolging via RFID

Bij Familiebedrijf Verhoeven wordt elk dier enkele dagen na geboorte voorzien van een oormerk met een RFID-chip. Doormiddel van een reader en de LeeO app kunnen diergegevens geregistreerd worden en gekoppeld worden aan het individuele dier. Wanneer de reader in de buurt komt van de chip, krijgt de veehouder de mogelijkheid om in de app gegevens te registreren. Voor dagontmesting bij vleesvarkens werd LeeO gebruikt om dieraantallen bij te houden in de afdelingen en in welke periode die dieren aanwezig zijn. Voor vrijloopkraamhok met dagontmesting werden er gegevens verzameld van het moederdier, het aantal biggen in de toom, de geboortedatum, sterfte, oorzaak van sterfte, datum van sterfte, geboortegewicht, speengewicht, speendatum, opleg gewicht, datum van opleg, slachtgewicht en slachtdatum.

4.1.1.1 Praktische aandachtspunten

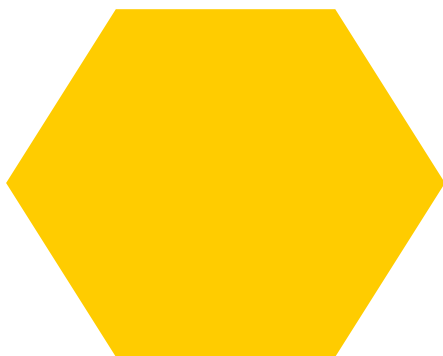
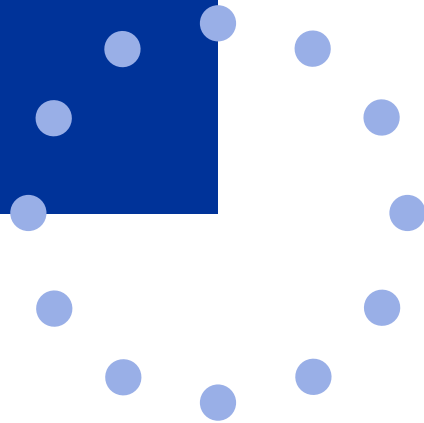
Het registreren van de data via de app blijft praktisch werk en kost tijd om dit secuur te doen. Onvolledige of foutieve registraties kunnen leiden tot incorrecte gegevens en conclusies. Praktische aandachtspunten zijn dat zowel de reader als telefoon opgeladen moeten zijn en binnen handbereik in de stal. Ook bereik is hierbij van belang voor goede registratie. Wanneer zeugen na de kraamfase waren geëuthanaseerd of als pleegmoeder zijn ingezet zijn ze niet meegenomen in de analyse. Hetzelfde gebeurde wanneer meer dan 4 of meer biggen inkomend of als uitgaand geregistreerd waren. Ook wanneer er geen geboortegewichten of speengewichten beschikbaar waren, werd de zeug niet meegenomen in de analyse. Vooral het overleggen is een aandachtspunt aangezien dit in de praktijk wel gebeurt, maar via data registratie is dit lastig bij te houden. Voorafgaand aan een onderzoek moeten hier afspraken over gemaakt worden om later dataverlies te voorkomen.

4.2 Logging spoelcomputer bij dagontmesting

Dagontmesting is een techniek waarbij de mestgoten dagelijks gespoeld worden met dagverse mest. Met een toepassing van een techniek is er ook altijd een kans op storingen. Het is dan zaak om de storing snel op te sporen en deze te verhelpen. De dagontmesting wordt aangestuurd met een ontwikkelde spoelcomputer. Met deze computer kunnen de parameters vastgelegd worden om een optimaal resultaat te bereiken. Zo is de spoelfrequentie als ook de spoelflow instelbaar. Het kan voorkomen dat er een storing optreedt. Zo kan de centrale spoelpomp verstopt raken of de inlaatklep van de spoelleiding. Ook kan de aflatklep van de mestgoot niet opengaan. Alle ingestelde parameters worden met sensoren gemonitord en bij een calamiteit wordt de betreffende afdeling uit het spoelproces gehaald. Het systeem verstuurd op dat moment een mail om de storing te melden en op de spoelcomputer is dit direct zichtbaar. Zo kan er snel ingespeeld worden op de storingen, maar kunnen problemen ook bijgehouden worden en kan dit achteraf gelinkt worden aan event in de emissiedata.



5. Dataopslag en - verwerking



5.1 Installatie en opstart

De data die sensoren voorzien kunnen een grote meerwaarde zijn voor de bedrijfsvoering door inzichten te bieden. Tussen de sensor die de gegevens genereert en de uiteindelijke bruikbare output zitten echter vaak meerdere, technische stappen. Een sensor zelf bezit een microcontroller, een soort interne computer die de waarde registreert, eventueel omzet en doorstuurt. Dit doorsturen kan via een kabel, het internet of ander netwerk of door het wegschrijven naar een bestand. Om uiteindelijk tot emissies te komen zijn vaak een combinatie van sensoren nodig, die elk op hun eigen manier met dataopslag omgaan.

Waar mogelijk wordt op ILVO de data van sensoren opgevangen en doorgestuurd naar een centrale database, waarbij alle gegevens op dezelfde locatie en in eenzelfde format staan. Hierdoor zijn ze ook vanop afstand toegankelijk zijn door meerdere gebruikers. Op ILVO wordt daarvoor gewerkt met InfluxDB, een tijdsserie-gebaseerd databank, die geïnstalleerd is op een lokale server. Gekoppeld aan die databank wordt gebruik gemaakt van Grafana, een open-source monitoring- en analyseplatform waarmee de data in realtime gevisualiseerd en opgevolgd kan worden. Beperkte dataverwerking kan ook via Grafana gebeuren om enkele inzichten beschikbaar te maken tijdens de dagelijkse opvolging. Intensievere dataverwerking gebeurt achteraf via Python.

Ook bij Familiebedrijf Verhoeven werden verschillende sensoren gebruikt op verschillende locaties in het bedrijf, zoals de stal- en ventilatiesystemen. Het opslaan gebeurde via verschillende methoden zoals een klimaatcomputer, spoelcomputer of andere soorten loggingsystemen. Elke dag werd er één bestand klaargezet in Onedrive voor de data van de vleesvarkensafdelingen. De database bestond uit sensordata, bedrijfsinformatie en dierregistratiedata uit het programma van LeeO. Vanuit het KNMI-weerstation werd wekelijks de klimaatdata opgehaald.

5.1.1.1 Praktische aandachtspunten bij installatie

- Het is waardevol om voorafgaand aan de metingen een overzicht te maken met welke data nodig is voor de data-analyse, zodat al de nodige gegevens vanaf het begin juist gelogd kunnen worden.
- Een goede structuur in de bestandsopbouw zal het automatisch verwerken makkelijker maken. Ook het standaardiseren van de meetdata zorgt dat data tussen afdelingen en bedrijven te vergelijken is.
- Sla altijd (ook) de ruwe data op, zoals ze door de sensor gegeven worden. Eventuele aanpassingen, zoals kalibraties of omzettingen, kunnen achteraf toegevoegd worden. Dit zorgt voor transparantie en vermijdt dat oude data bij fouten, verwerven van nieuwe inzichten of het gebruik van alternatieve procedures, niet meer bruikbaar is.
- Voorzie een lokale back-up voor data van sensoren die gegevens doorsturen via een netwerk, dit voorkomt verlies van data door onderbrekingen in het netwerk.
- Voorzie een regelmatige back-up van de databank zelf op een apart locatie, zodat gegevens niet verloren gaan na technische problemen.
- Niet alle aangekochte sensoren en systemen zijn voorzien om gegevens zelf uit te lezen en op te slaan. Hou hier rekening mee bij de aankoop van een product, aangezien zulke beperkingen automatisatie en dataverwerking bemoeilijken. Daarnaast kunnen extra services voor de visualisatie of personalisatie van de gegevens een bijkomende (terugkerende) kost met zich meebrengen.
- Voorzie data van metadata, op het moment zelf kan het duidelijk zijn waar de gegevens vandaan komen, maar achteraf is dit vaak moeilijk achterhaalbaar. Registreer minstens de locatie van elke sensor in de stal.
- Een mogelijkheid tot snelle (realtime) visualisatie van de verzamelde gegevens maakt opvolging van de werking en kwaliteit van de metingen gemakkelijker.

5.2 Ervaringen tijdens emissiemetingen

Bij de emissiemetingen op ILVO kwam verlies van data regelmatig voor. Buiten technische problemen met de sensoren zelf, was de overdracht van data tussen de sensor (systemen) en de database een belangrijk struikelpunt. Kortdurende onderbrekingen door verlies van verbinding hadden vaak weinig effect op de uiteindelijke emissiemetingen. De grootste periodes van dataverlies traden op door IT problemen, zoals onverwachte updates van computers en automatische heropstart, blokkeren van internetpoorten door gewijzigd IT beleid of bereikbaarheid van de databank. Veel van deze



problemen zijn gerelateerd aan de onderzoeksinfrastructuur van ILVO en zouden bij professionalisering opgelost kunnen worden. Door de installatie van tijdelijke back-up systemen kon data opgevangen worden wanneer de verbinding met de database kortstondig verloren ging. Zo kon op een later tijdstip de data toch nog doorgestuurd worden naar de database. Zeker wanneer het lang duurt voor het probleem opgelost kon worden, kon de back-up van registratie-intensieve logging (zoals de meetwaaiers) vol geraken, waardoor er toch data verloren ging.

Voor de dataverwerking kon een groot deel van de verwerkingsstappen op ILVO geautomatiseerd worden, althans voor de sensoren die rechtstreeks gekoppeld waren aan de database. De Drager XNodes waren hier een uitzondering op. Deze data werd regelmatig manueel gedownload en opgeslagen op een vaste locatie. Wanneer deze gegevens nodig waren voor emissieberekeningen werden de gedownloade bestanden ingelezen. Een API waardoor de Drager data automatisch verbonden kon worden met de database op ILVO was nog niet voor handen.

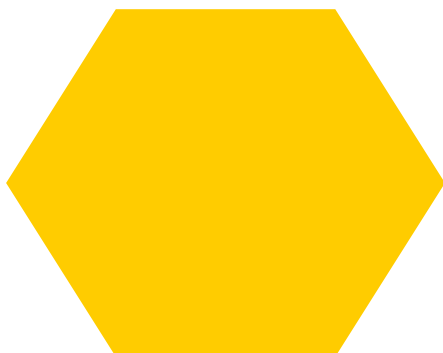
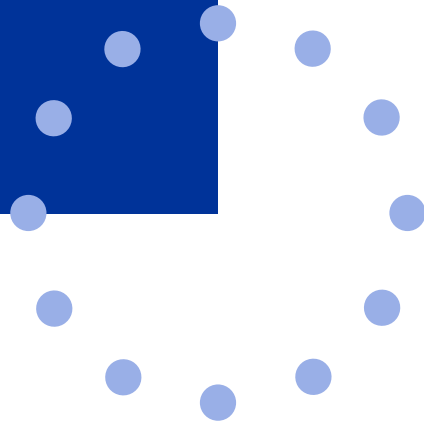
Door de vele sensoren en dus veelheid aan mogelijke technische of IT problemen, is veel werk gekropen in omgang met vermiste waarden. Bij kortdurende problemen kan interpolatie toegepast worden, hoewel dit in de proeven niet standaard gedaan werd voor transparantieredenen. Bij langdurigere problemen moest in een case-by-case wijze bekeken worden welke alternatieven mogelijk zijn om toch nog tot betrouwbare emissiewaarden te komen. Dit gebeurde door een alternatieve meetmethode te gebruiken voor ventilaties en concentraties (indien aanwezig) of modellering. Een andere obstakel voor automatisatie zijn outliers. Tijdens de proeven werd case-by-case gekeken wat de outlier veroorzaakt had en werd daarna beslist of het datapunt mocht blijven of verwijderd werd voor de uiteindelijke emissiebepaling. Automatische filtering van outliers wordt afgeraden, omdat outliers vaak wijzen op problemen met de sensor of de dataverwerking. Voor visualisatie bij emissiemonitoring kunnen outliers wel problematisch zijn, omdat ze de proporties van de data kunnen vertekenen.

Bij De Hoeve werden de gelogde data wekelijks verwerkt door Wageningen Livestock Research en ontving de De Hoeve een visualisatie van de data. Dit gaf inzicht in emissiepatronen. Wanneer er opvallende datapunten werden gemeten kon er meteen door de varkenshouder gereageerd worden of er daadwerkelijk iets heeft gespeeld in de desbetreffende afdeling. Dit was waardevol om de gegevens te vertalen naar de praktijk. De gegevens die visueel werden opgestuurd waren een overzicht van alle sensorgegevens van de afgelopen 2 weken (met ook dieraantallen en klimaatdata). Dit werd gebruikt om te controleren of alles goed werkte en om storingen snel te zien. Er werd een overzicht gestuurd per dag van het gemiddelde, minimum en maximum van de sensorgegevens over de hele projectperiode (ook met dieraantallen en klimaatdata). Dit helpt om patronen over langere tijd te zien. Als laatste kreeg de veehouder een overzicht met de belangrijkste cijfers van het bedrijf.

Het kwam in totaal is het vijf keer voor dat er ontbrekende databestanden waren. Wanneer de bestanden helemaal niet waren aangemaakt was het niet mogelijk om deze data nog terug te halen. Het is ook voorgekomen dat de bestanden op een andere locatie terecht waren gekomen, toen kon de data wel teruggehaald worden. Vier keer was er een melding van een incompleet databestand, dan was één of meerdere sensoren uitgevallen waardoor de data ontbrak. Deze waarden kon dan niet meer worden toegevoegd. Om dit te optimaliseren is een waarschuwing van ontbrekende of niet zuivere data nodig. Vanuit de meetwaaiers en de sensoren kwam er veel data binnen. Om de verwerking en analyse te automatiseren moet de data goed gestructureerd zijn. Wanneer er gewerkt wordt met bedrijfseigen data is anonimiteit erg belangrijk. Alle datasets zijn geanonimiseerd voordat zij zijn opgeslagen en geanalyseerd. Identificeerbare informatie waren vervangen door codes, zodat het bedrijf niet herleidbaar is. Voor vervolgonderzoek is dit een belangrijk onderdeel om vertrouwen te behouden met de betrokken partijen.



6. Praktische uitvoering evaluaties



6.1 Ervaringen met betrekking tot de gebruikte evaluatiemethode

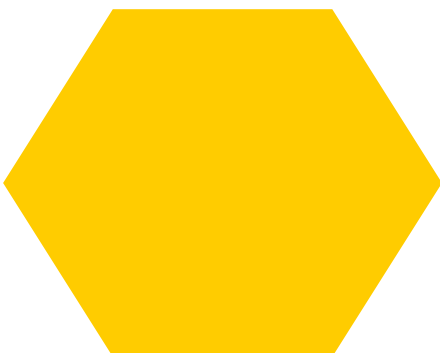
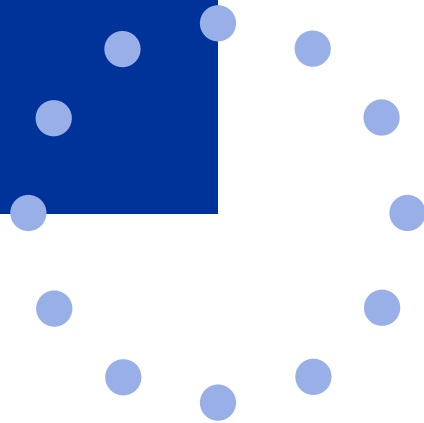
De evaluatieproeven van de emissiereducerende maatregelen op de ILVO Varkenscampus werden uitgevoerd volgens een case-control opzet. Hierbij werden twee of meerdere afdelingen zo vergelijkbaar mogelijk georganiseerd, met als enige verschil de toegepaste behandeling. In de RAMBO-proeven werd gebruikgemaakt van drie identieke, naast elkaar gelegen afdelingen, ingebed tussen twee andere afdelingen, zodat ze een gelijke blootstelling aan de buitengevel hadden. De beschikbare dieren werden voor de start van de proef verdeeld in drie homogene groepen met vergelijkbare kenmerken en werden gelijktijdig naar de afdelingen overgebracht. Tijdens de proefperiode werd het management tussen de afdelingen zo uniform mogelijk gehouden. Eventuele noodzakelijke ingrepen in één afdeling (zoals het aflaten van de mestput of ontworming) werden ook in de andere afdelingen uitgevoerd om verschillen te minimaliseren. Hoewel deze opzet theoretisch zou moeten leiden tot drie identieke afdelingen en dus vergelijkbare emissies, bleek in de praktijk al snel dat omgevingsfactoren toch voor variatie zorgden. In de verificatiefase kwam het belang van temperatuur en ventilatie duidelijk naar voren. Hierop werd ingespeeld door onder meer leegstaande aangrenzende afdelingen op te vullen of bij te verwarmen en om de ventilatie opnieuw te laten afstellen.

In een ideaal scenario zou een cross-over van behandelingen zijn toegepast om resterende afdelingseffecten uit te sluiten. Cross-over designs bieden het meest potentieel voor maatregelen met een kortdurende werking of maatregelen die gemakkelijk “aan” of “uit” gezet kunnen worden. Dit bleek echter moeilijk realiseerbaar, aangezien de onderzochte maatregelen vaak langdurige effecten hebben op de dieren (bijvoorbeeld voedermaatregelen) of in de mestput (zoals mestadditieven). Bovendien zou een dergelijke aanpak de evaluatie van bepaalde neveneffecten bemoeilijken. Om deze redenen werd ervoor gekozen om geen cross-over toe te passen. Een gevolg van deze keuze is dat praktijkverschillen tussen de afdelingen kunnen optreden die de effecten van de behandeling kunnen verbergen. Dit is vooral het geval wanneer het reducerend effect kleiner is dan de variaties veroorzaakt door praktijkverschillen tussen de afdelingen. Uit de resultaten blijkt dat voor de meeste geteste maatregelen de stalvariatie mogelijk een dominante rol heeft gespeeld, waardoor potentiële emissiereducties deels werden gemaskeerd. Hierbij valt ook op dat er nieuwe factoren opdoken (waaronder verhoogd waterverbruik en systematisch hogere CH₄ emissies in 1 afdeling), die niet naar voren kwamen in de verificatieperiode. Dit toont aan dat praktijkomstandigheden variabel zijn en dat beïnvloedende factoren soms moeilijk te voorspellen zijn. Vooral bij maatregelen met een beperkte reductie (<20%) vormt dit een uitdaging. Voor een nauwkeurigere kwantificatie van het potentieel van dergelijke maatregelen zou een eerste evaluatie in kleinschaligere, gecontroleerde omstandigheden met voldoende herhalingen wenselijk zijn. Gezien de beperkte beschikbaarheid van afdelingen en het aantal proefrondes binnen het RAMBO-project, zou dit enkel mogelijk zijn geweest door behandelingen tijdens de proeven te wisselen. Dit brengt echter, zoals eerder aangegeven, risico's met zich mee op overdracht van effecten en bemoeilijkt de beoordeling van neveneffecten. Bovendien kan ook in dat geval niet volledig worden uitgesloten dat er zich ook variërende omstandigheden tijdens de ronde voordoen die tot vertekening of maskering van het werkelijke emissiereductiepotentieel kunnen leiden.

Voor vervolproeven rond emissie reducerende maatregelen in varkensstallen wordt aanbevolen om te werken met een meer gefaseerde en methodologisch versterkte proefaanpak. Voor veel van de geteste maatregelen was, ondanks eerste screening, weinig bekend over het emissiereductiepotentieel. Om dit beter in kaart te brengen kan in eerste instantie een selectie van maatregelen worden geëvalueerd onder kleinschalige, sterk gecontroleerde omstandigheden (bijvoorbeeld in klimaatkamers), waarbij omgevingsfactoren maximaal gestandaardiseerd worden en voldoende herhalingen mogelijk zijn. Op basis van deze screening kunnen vervolgens de meest veelbelovende maatregelen verder worden gevalideerd onder praktijkomstandigheden. Binnen praktijkproeven is het aangewezen om het aantal herhalingen en proefrondes te verhogen en metingen uit te voeren over volledige productierondes, bij voorkeur gespreid over verschillende seizoenen. Ook hier is het aangeraden om de behandelingen in de afdelingen te wisselen. Dit laat toe om de invloed van variabele omgevingsfactoren, zoals temperatuur en ventilatie, beter te middelen en robuustere resultaten te bekomen. Dit is ook wat aangeraden wordt volgens de meetrichtlijnen die opgesteld werden voor bepaling van emissies in veestallen (Winkel et al., 2026). Daarnaast is het essentieel om deze omgevingsparameters continu te monitoren en, waar mogelijk, actief te sturen of statistisch te corrigeren. Tot slot is het aangewezen om in de proefopzet rekening te houden met de minimale detecteerbare emissiereductie, zodat het aantal herhalingen en de meetstrategie hierop kunnen worden afgestemd. Het centraliseren van data uit verschillende proeven en projecten kan bijkomend bijdragen tot sterkere conclusies via meta-analyse en kennisopbouw op sectorniveau.



7. Conclusies



7.1 Conclusies

Dit ervaringsverslag toont aan dat het uitvoeren van betrouwbare emissiemetingen in een praktijkomgeving zoals de Varkenscampus en bij Familiebedrijf Verhoeven technisch haalbaar is, maar gepaard gaat met belangrijke aandachtspunten op vlak van meetmethodes, datakwaliteit en proefopzet. Continue metingen bleken essentieel om deze variaties goed in beeld te brengen. De combinatie van verschillende meettechnieken versterkt zowel de robuustheid als de interpretatie van de resultaten.

Voor ventilatiemetingen bieden meetwaaiers over het algemeen betrouwbare metingen, mits correcte installatie, onderhoud en filtering van waarden onder de detectielimiet. De klimaatcomputer is eenvoudig beschikbaar en gebruiksvriendelijk, maar minder geschikt voor nauwkeurige emissieberekeningen door beperkte resolutie en mogelijk gebrek aan zelfcontrole. De CO₂-balansmethode vormt een interessant alternatief zonder directe ventilatiemeting, maar is sterk afhankelijk van modelaannames en gevoelig voor externe invloeden, waardoor voorzichtigheid nodig blijft bij de interpretatie.

Wat concentratiemetingen betreft, levert de gebruikte FTIR gas analyzer hoogwaardige en consistente data voor meerdere gassen, maar vereist dit systeem een complexe en onderhoudsintensieve infrastructuur die niet geschikt is voor praktische en betaalbare metingen op bedrijfsniveau buiten onderzoekscontext. Sensoren zoals de Drägers bieden daarentegen een flexibel en praktisch inzetbaar alternatief met hoge temporele resolutie, al zijn regelmatige kalibratie en opvolging noodzakelijk om drift en verzadiging te beheersen. Ook mist nog verdere standaardisatie van meetmethoden en duidelijkheid over het onderhoud van de sensoren. Verder zijn meerdere sensoren nodig wanneer de concentratie van verschillende gassen gekend moet zijn, wat de complexiteit en kost kan doen toenemen.

Voor vrijloopkraamhokken met dagontmesting is gebruik gemaakt van RFID chips en de app LeeO om individuele dierregistraties bij te houden. De praktische aandachtspunten liggen vooral bij het goed inventariseren welke data er beschikbaar is en welke gegevens nodig zijn voor verdere analyse.

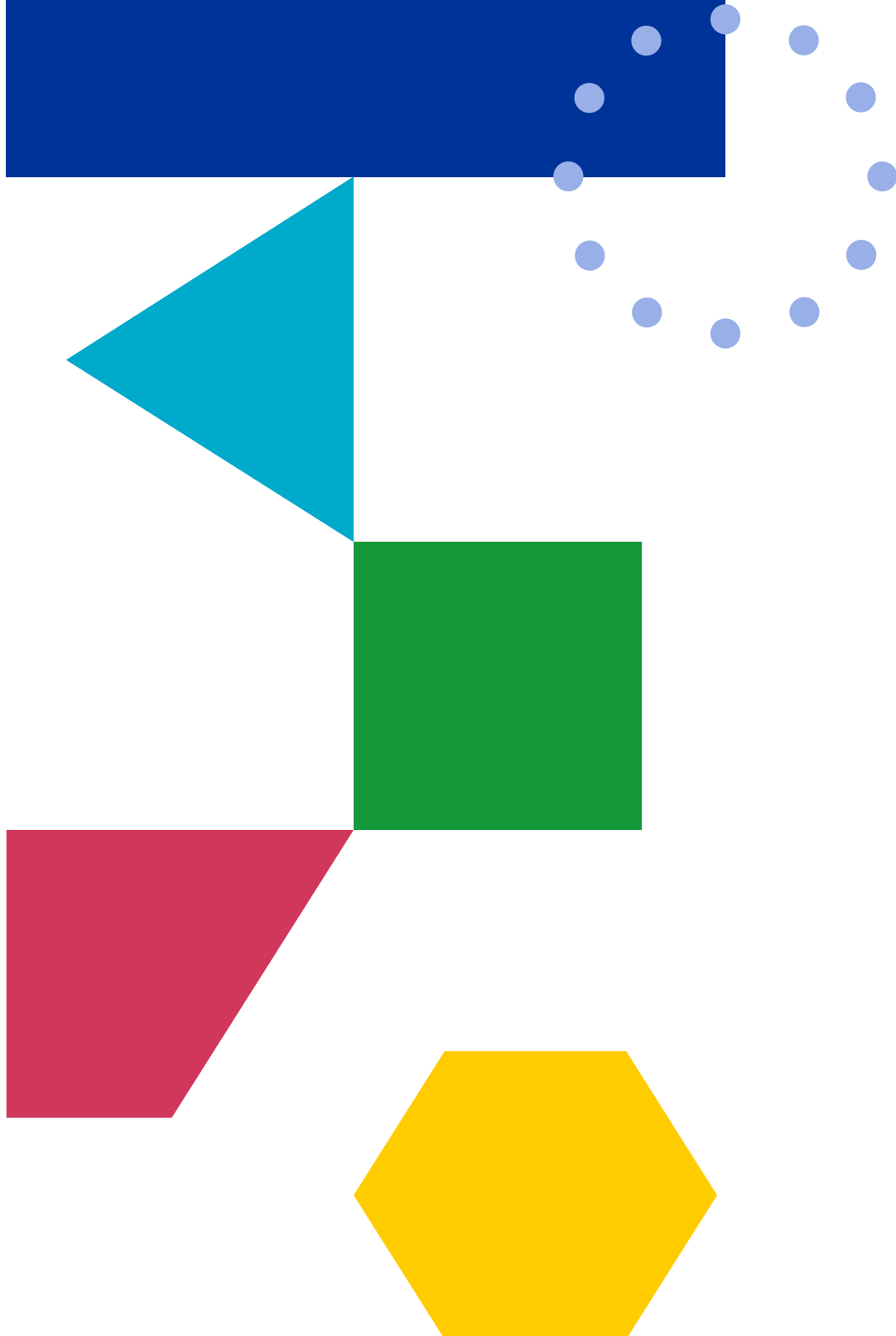
Op het vlak van dataopslag en -verwerking bleek realtime visualisatie een grote meerwaarde voor monitoring en kwaliteitscontrole. Waarschuwingen van abnormale waardes zouden kunnen helpen om fouten op te sporen en op tijd in te grijpen waar nodig. Tegelijkertijd werd duidelijk dat dataverlies, IT-problemen en heterogene datasystemen belangrijke knelpunten vormen die extra aandacht vereisen. Transparantie, het bewaren van ruwe data en een doordachte back-upstrategie zijn hierbij cruciaal.

De evaluatie van emissiereducerende maatregelen in praktijkomstandigheden blijft complex. Ondanks een zorgvuldig uitgewerkte case-control opzet bleken omgevingsvariaties tussen afdelingen een belangrijke invloed te hebben, waardoor potentiële effecten van maatregelen soms gemaskeerd werden. Dit onderstreept het belang van voldoende herhalingen, langdurige metingen en – waar mogelijk – aanvullende gecontroleerde experimenten. Kleine emissiereducties zijn in praktijkomstandigheden moeilijk detecteerbaar en vragen een aangepaste experimentele aanpak.

Deze inzichten vormen een waardevolle basis voor het optimaliseren van toekomstige emissiemetingen en evaluatiestudies, met als doel meer betrouwbare, reproduceerbare en praktijkrelevante resultaten te bekomen.



8. Referenties



8.1 Referenties

Pedersen, S. & Sällvik, K. (2002). Heat and Moisture Production at Animal and House Levels 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses; CIGR: Horsens, Denmark.

Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Jørgensen, H., Chwalibog, A., Haeussermann, A., Heetkamp, M. J. W., & Aarnink, A. J. A. (2008). Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.

Winkel, A., Brusselman, E., Hensen, A., Otten, G., Vonk, J., Laanen, L., Verfaillie, A., van Dinther, D., Mosquera Losada, J., & Ogink, N. W. M. (2026). *Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen (versie 3): Guidelines for determination of emissions from livestock barns (version 3)*. (Rapport / Wageningen Livestock Research; No. 1638). Wageningen University & Research. <https://doi.org/10.18174/714405>



In samenwerking met/ met steun van:



Gefinancierd door
de Europese Unie

RAMBO



Proefbedrijf
Pluimveehouderij
Provincie Antwerpen



Provincie
Antwerpen



Provincie Noord-Brabant

