



Vlaanderen

is landbouw & zeevisserij

ILVO Mededeling D/2025/06

Maart 2025

**Meetcampagne voor de bepaling
van de ammoniakemissies van
een traditionele melkveestal**

ILVO

Instituut voor Landbouw-,
Visserij- en Voedingsonderzoek

www.ilvo.vlaanderen.be

Dit onderzoek werd uitgevoerd door ILVO in opdracht van het Beleidsdomein Omgeving



**Vlaamse
overheid**

**DEPARTEMENT
OMGEVING**

Meetcampagne voor de bepaling van de ammoniakemissies van een traditionele melkveestal

ILVO MEDEDELING D/2025/06

Maart 2025

ISSN 1784-3197

Wettelijk Depot: D/2025/10.970/06

Auteurs

Declerck Arnout

Coorevits Kobe

Laanen Loes

Peeters Quinten

Van den Bossche Tine

Vandenbussche Chari

Brusselman Eva

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	1
1 Samenvatting.....	4
2 Inleiding.....	9
3 Materiaal & methoden.....	10
3.1 Beschrijving van de melkveestallen en hun omgeving.....	10
3.1.1 Stal B1.....	10
3.1.2 Stal B2.....	12
3.1.3 Stal B3.....	15
3.1.4 Stal B4.....	17
3.2 Meteorologische data.....	19
3.3 Landbouwkundige randvoorwaarden.....	19
3.4 Gehanteerde meetstrategie en meetmethodes.....	21
3.4.1 Meetperiode en -intensiteit.....	21
3.5 Ammoniakconcentraties.....	22
3.5.1 Locaties verzamelleidingen.....	22
3.5.2 Meetopstelling.....	25
3.6 Ventilatiegebieden.....	27
3.6.1 ILVO-metmethode.....	27
3.6.2 VERA-metmethode.....	31
3.7 Kwaliteitscontrole.....	33
3.7.1 Controle van de ventilatiebalans bij de ILVO-metmethode.....	33
3.7.2 Randvoorwaarden gesteld bij de ILVO-metmethode.....	33
3.7.3 Randvoorwaarden gesteld bij de VERA-metmethode.....	34
3.7.4 Kalibratie gasanalyzers op basis van ringtesten bij VITO.....	34
3.7.5 Veldvalidatie gasanalyzers met behulp van gasflessen.....	35
3.8 Berekening emissie.....	36
3.8.1 ILVO-metmethode.....	36
3.8.2 VERA-metmethode.....	37
3.9 Dataverwerking en -analyse.....	37
3.9.1 Controle op volledigheid, kwaliteit en consistentie.....	37
3.9.2 Standaardisatie van de emissies.....	38
4 Resultaten & discussie.....	39
4.1 Meteorologische data.....	39
4.1.1 Gemiddelde omgevingstemperatuur.....	39
4.1.2 Windsnelheid en -richting.....	40

4.2	Landbouwkundige randvoorwaarden	42
4.2.1	Aantal dieren & huisvesting	42
4.2.2	Klimaat	43
4.2.3	Rantsoen.....	43
4.2.4	Melkproductie en -ureumgehalte.....	45
4.2.5	Discussie.....	46
4.3	Ventilatiedebieten	46
4.3.1	ILVO-meetmethode.....	46
4.3.2	VERA-meetmethode	51
4.3.3	Vergelijking ventilatiedebieten bepaald met ILVO- en VERA-meetmethode.....	52
4.4	Ammoniak en CO ₂ -concentraties.....	54
4.4.1	Kwaliteitscontrole.....	54
4.4.2	Data-exploratie.....	56
4.5	Ammoniakemissies	61
4.5.1	ILVO-meetmethode.....	61
4.5.2	VERA-meetmethode	65
4.5.3	Vergelijking ammoniakemissies bepaald met ILVO- en VERA-meetmethode.....	69
5	Dankwoord	73
6	Referenties	74
7	Bijlagen.....	75
7.1	Bijlage 1: Landbouwkundige randvoorwaarden zoals opgenomen in Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen (versie 2)	75
7.2	Bijlage 2: Kalibratiecurven van analyzers op basis van kalibratiemetingen bij VITO	76
7.3	Bijlage 3: Overzicht ongebruikte data meetcampagne	78
7.4	Bijlage 4: Distributie van het aantal beschikbare uren over een dag per meetlocatie gebruikt voor de berekening van de NH ₃ -emissiewaarden volgens de ILVO-meetmethode	79

Afkortingen

AUC	Area under the curve = Oppervlakte onder de curve (OOC)
CO ₂	Koolstofdioxide
dp	Dierplaats
DS	Droge Stof
DVE	Darm Verteerbaar Eiwit
EF	Emissiefactor
NH ₃	Ammoniak
NO	Noordoost
NW	Noordwest
OEB	Onbestendige Eiwit Balans
OOC	Oppervlakte onder de curve = Area under the curve (AUC)
PAS	Programmatiese Aanpak Stikstof
RE	Ruw Eiwit
VEM	Voeder Eenheid Melk
VERA	Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production
ZO	Zuidoost
ZW	Zuidwest

Termen en definities

Jongvee	Vrouwelijke runderen met een leeftijd < 2 jaar
Meetstrategie	De meetstrategie behelst het aantal metingen en de verdeling van dit aantal in tijd, binnen en over bedrijfslocaties.
Meetmethode	Alle procedures en middelen om een grootte te bepalen.

1 Samenvatting

Dit rapport kadert binnen de referentietaken die ILVO uitvoert ten behoeve van het Beleidsdomein Omgeving. **Het doel van deze meetcampagne is de bepaling van de gemiddelde ammoniakemissie van een traditionele Vlaamse melkveestal.** In het MER-richtlijnenboek Landbouwdieren¹ komt dit overeen met het stalsysteem 'overige huisvestingssystemen permanent opstallen' voor de diercategorie 'melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar', met een bijhorende ammoniak emissiefactor van **13 kg/dierplaats/jaar**. Het is belangrijk om een duidelijk onderscheid te maken tussen de gemiddelde **ammoniakemissie** en de **emissiefactor** van een bepaalde combinatie van diersubcategorie en stalsysteem. Emissie is een wetenschappelijk-technische grootheid die door onderzoeksinstellingen of meetinstanties kan worden bepaald. Een emissiefactor is een juridische grootheid die door een overheid wordt vastgesteld in regelgeving². **Het doel van dit rapport is het bepalen van de gemiddelde ammoniakemissie. De informatie uit dit rapport kan vervolgens door de overheid gebruikt worden om een ammoniakemissiefactor vast te stellen.**

Binnen deze meetcampagne werden **twee verschillende meetmethodes** toegepast om de emissies van de vier stallen te bepalen. De eerste is **een door ILVO ontwikkelde meetmethode** op basis van het onderzoek van Van Overbeke et al. (2016) en De Vogeleer et al. (2017). Bij de ILVO-metmethode worden de ventilatiedebieten bepaald op basis van luchtsnelheidsmetingen in de stalopeningen. Ook de gasconcentraties van de in- en uitgaande lucht worden gemeten aan de stalopeningen. De tweede **meetmethode is gebaseerd op het VERA-protocol** dat gebruikt wordt in diverse Europese landen zoals Nederland, Duitsland en Denemarken (VERA, 2018). Bij de toepassing van de meetmethode zoals omschreven in het VERA-protocol, worden de emissies bepaald met behulp van de tracer gas ratio methode. De ventilatiedebieten worden berekend op basis van het verschil in CO₂ in en rond de stal en de verwachte productie van CO₂ door de aanwezige dieren. Bij deze meetmethode worden de gasconcentraties centraal in de stal gemeten. **Hoewel het VERA-protocol uitgaat van discrete metingen (6 metingen strategisch gespreid doorheen het jaar), werd in deze meetcampagne, bij beide meetmethodes, gekozen om continu te meten met behulp van een gasanalyzer. Hiermee trachten we een zo correct mogelijke inschatting te maken van de werkelijke ammoniakemissie van elke stal. Bovendien biedt dit de mogelijkheid inzicht te krijgen in de mate waarin de ammoniakemissie varieert doorheen het meetjaar.**

De onderzoekslocaties waar emissiemetingen plaatsvinden in het kader van een algemene erkenning van een emissiereducerende techniek of maatregel moeten representatief zijn voor de praktijk². Om te kunnen toetsen of onderzoekslocaties representatief zijn, werden per diersubcategorie **landbouwkundige randvoorwaarden** opgesteld. De meest recente richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen die door een Vlaams-Nederlandse werkgroep werd gepubliceerd in november 2024, omvatten een geactualiseerde versie van de landbouwkundige randvoorwaarden². Er zijn een aantal landbouwkundige randvoorwaarden waaraan tijdens deze meetcampagne niet voldaan werd. Er werd bijvoorbeeld niet voldaan aan de voorwaarde dat op meetdagen het aantal in de stal aanwezige dieren (melkkoeien plus jongvee) niet meer dan 10% mag afwijken (zowel naar beneden als boven) van het aantal in de stal aanwezige ligboxen. Om na te gaan of aan deze voorwaarde werd voldaan werden het aantal aanwezige dieren gedeeld door het totaal aantal beschikbare ligplaatsen (excl. de ligbedden in de separatuurruimtes), verder in dit rapport benoemen we dit cijfer als de **bezettingsgraad**. Aan deze landbouwkundige randvoorwaarde werd slechts een deel van de tijd voldaan. Er is een groot verschil te merken tussen de meetlocaties. Stal B4 zit gedurende de volledige meetperiode boven de maximale toegestane bezettingsgraad van 110%. Stal B2 heeft, met uitzondering van een korte periode, een

¹ https://omgeving.vlaanderen.be/sites/default/files/2024-06/20240611_RLB%20Landbouwdieren_bijlageemissiefactoren.pdf

² [Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen \(versie 2\)](#)

hogere bezettingsgraad dan de maximale toegestane van 110%. Stal B3 voldoet aan het begin en het einde van de meetperiode aan de landbouwkundige randvoorwaarde. In het midden van de meetperiode is de bezettingsgraad hoger dan 110%. Stallocatie B1 voldoet ongeveer de helft van de meetperiode net aan de ondergrens van de bezettingsgraad (90%). De overige tijd ligt de bezettingsgraad onder de ondergrens.

Ondanks het feit dat het bevuilde vloeroppervlak niet opgenomen is in de landbouwkundige randvoorwaarden, lijkt dit een cruciale variabele die invloed heeft op de ammoniakemissie. Het bevuilde oppervlak is mogelijk zelfs relevanter dan de bezettingsgraad dat bepaald wordt op basis van het aantal beschikbare ligbedden. Het bevuilde oppervlak werd in dit onderzoek op twee manieren bepaald: (1) door de oppervlakte van de roosters (die continu toegankelijk zijn voor melkvee en jongvee/droge koeien) te delen door het aantal ligbedden (uitgezonderd de ligbedden in de separatieruimtes) en (2) door de oppervlakte van de roosters (die continu toegankelijk zijn voor melkvee en jongvee/droge koeien) te delen door het aantal aanwezige dieren in de stal. Gezien het werkelijke aantal aanwezige dieren varieert doorheen de meetperiode en bij momenten sterk verschilt van het aantal ligbedden, krijgt de tweede berekeningsmethode de voorkeur ten opzichte van de eerste. Op basis van de tweede berekeningsmethode kan geconcludeerd worden dat **stal B1 een merkelijk groter besmeurd oppervlak per aanwezig dier heeft, nl. gemiddeld 7,02 m², in vergelijking met de andere drie stallen (gemiddeld tussen 4,60 m² en 5,17 m²).**

Volgens Ogink et al. (2014) en de meest recente meetrichtlijnen³ worden de emissiewaarden bij voorkeur gestandaardiseerd naar verschillende parameters die tussen verschillende landbouwbedrijven kunnen variëren. Drie parameters worden hierbij in beschouwing genomen: buitentemperatuur, melkureumconcentratie en het bevuilde oppervlak per dier(plaats). Welke het gemiddelde bevuilde oppervlak is in Vlaanderen is niet gekend. Omwille van deze reden werd de waarde van Nederland toegepast, nl. 4,5 m²/dier. Door deze standaardisatie door te voeren, worden de verschillen in besmeurd oppervlak tussen stallen in rekening gebracht. **Men kan zich echter de vraag stellen of deze standaardisatie tot een betere schatting leidt van de ammoniakemissie van een gemiddelde Vlaamse melkveestal. Dit wordt verder in detail besproken.**

Geen van de bedrijven voldoet aan de randvoorwaarde dat minimaal 80% van de droge stofopname uit ruwvoer moet bestaan, aangezien het aandeel ruwvoer gemiddeld rond de 70% ligt. In Vlaanderen zijn gegevens over de gemiddelde rantsoensamenstelling van melkveebedrijven schaars. Echter, op basis van eigen ILVO-data en het eindwerk van Mahieu (2014) kan worden vastgesteld dat **de randvoorwaarde van 80% niet realistisch is voor de praktijk** en dat het Vlaams gemiddelde eerder rond de 70% ligt. De bedrijven hanteren overwegend maïsrijke rantsoenen, bestaande uit ongeveer 45–55% maïskuil, 30–40% graskuil en 15–20% bijproducten.

De dieren in stallen B3 en B4 hadden tijdens de meetcampagne een vrij gelijkaardige **gemiddelde melkproductie** (ongeveer 35 kg/dier/dag). Deze meetlocaties voldoen hiermee gedurende de volledige meetperiode aan de minimale waarde van 25 kg/dier/dag zoals gesteld in de landbouwkundige randvoorwaarden. De dieren in stallen B1 en B2 hadden een duidelijk lager melkproductie (ongeveer 29 kg/dier/dag). De gemiddelde melkproductie en de 25%-percentiel waarde liggen boven de minimale waarde van 25 kg/dier/dag. Er zijn wel dagen in de meetperiode waarbij de melkproductie onder deze minimale waarde lag.

Het **ureumgehalte** van de melk die tijdens de meetperiode werd geproduceerd varieerde tussen 21 en 24 mg/100 ml. Bij stallen B2, B3 en B4 werd over de volledige meetperiode voldaan aan de landbouwkundige randvoorwaarde (minimaal 15 mg/100 ml). Enkel bij stal B1 zakte het

³ [Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen \(versie 2\)](#)

melkureumgehalte een beperkt aantal keer onder de minimale waarde van 15 mg/100 ml. De 25%-percentielwaarde bedroeg 19,4 mg/100 ml en lag hiermee ruim boven de minimale waarde.

Landbouwkundige randvoorwaarden zijn opgesteld om ervoor te zorgen dat emissiemetingen uitgevoerd worden op stallen die representatief zijn voor de stallenpopulatie én om te vermijden dat andere emissiereducerende ingrepen dan diegene die onderzocht worden een vertekend beeld zouden geven van de gemeten emissiereductie. In dit onderzoek wordt geen emissiereducerende techniek of maatregel onderzocht, maar is het de bedoeling om de gemiddelde emissie te bepalen van een melkveestal in Vlaanderen. De meetlocaties werden gekozen op basis van de randvoorwaarden die door experts waren opgesteld om beschouwd te kunnen worden als traditionele Vlaamse melkveestal. Binnen deze populatie werden de meetlocaties ad random gekozen en zouden dus een doorsnede moeten vormen van de traditionele Vlaamse melkveestallen. **Afwijkingen ten opzichte van de landbouwkundige randvoorwaarden moeten in dit opzicht gezien worden als een indicatie dat deze afwijkingen effectief voorkomen bij praktijkstallen eerder dan dat deze metingen niet representatief zouden zijn voor de populatie van melkveestallen in Vlaanderen.**

Om inzicht te verkrijgen in de verschillen tussen beide meetmethodes werden de **uitgaande debieten** bepaald volgens de ILVO-metmethode vergeleken met de uitgaande debieten bepaald volgens de VERA-metmethode. Het relatieve verschil tussen de debieten (VERA-metmethode – ILVO-metmethode) op dagbasis is gemiddeld -9% en varieert tussen -33% en 34%. **Hoe de beide methoden zich onderling verhouden is verschillend per stal en afhankelijk van de grootte van het debiet.** De overeenkomst tussen beide methodes lijkt het grootste bij stallen B2 en B3 bij lage debieten. Bij hogere debieten geeft de VERA-metmethode lagere waarden dan de ILVO-metmethode met uitzondering van de hoogste debieten die optreden bij stal B1. **Er loopt momenteel een onderzoek in Nederland dat in dit kader relevante informatie zal opleveren. Dit betreft het NAPRO-project 'Validatie CO₂-productiemodel melkvee' dat op 31 december 2024 afliep. De resultaten van deze studie worden eerstdaags verwacht.** Dit onderzoek, uitgevoerd door Wageningen University & Research, zal hoogstwaarschijnlijk resulteren in wijzigingen aan de CIGR rekenregels die gebruikt worden om het debiet te bepalen bij de VERA-metmethode. **Eenmaal de resultaten beschikbaar zijn, zullen de berekeningen met de VERA-metmethode opnieuw worden uitgevoerd.**

Met de **ILVO-metmethode** werd een **ammoniakemissie per uur** berekend door het concentratieverschil tussen de uitgaande en ingaande lucht te vermenigvuldigen met het debiet van de uitgaande lucht. De emissie per uur werd vervolgens gedeeld door het aantal aanwezige dieren in de stal op het ogenblik van de metingen. In het ideale geval heb je voor elk uur van het jaar een emissiewaarde en tel je alle emissiewaarden per uur op om de totale ammoniakemissie over het jaar te kennen. Indien het aantal ontbrekende dagen beperkt zou zijn én de emissie een stabiel patroon vertoont, zouden de ontbrekende emissiewaarden ingeschat kunnen worden door interpolatie. Door het grote aantal ontbrekende emissiewaarden en het grillig emissiepatroon zal deze aanpak vermoedelijk leiden tot een foutieve inschatting van de werkelijke emissie. Omwille van deze reden werd ervoor gekozen om alle beschikbare emissiewaarden op te tellen om vervolgens te delen door het aantal beschikbare uren en te vermenigvuldigen met het aantal uren per jaar. Verder in het rapport noemen we dit de herschaling van de cumulatieve emissiewaarden. Om de emissiewaarde per jaar te berekenen voor een traditionele melkveestal werd vervolgens het gemiddelde berekend over de vier stallen op basis van de herschaalde cumulatieve waarde per stal.

Op basis van de herschaalde cumulatieve ammoniakemissies wordt met de ILVO-metmethode een gemiddelde ammoniakemissie van **16,99 ± 4,57 kg/dier/jaar** bekomen.

Met de **VERA-meetmethode** werd een **ammoniakemissie per dag** berekend. Aangezien het ventilatiedebiet volgens deze methode enkel over 24 uur bepaald kan worden, moet ook eerst de gemiddelde NH_3 - en CO_2 -concentratie in de ingaande lucht en centraal in de stal (de VERA-verzamelleiding) bepaald worden op basis van de uurwaarden. De daggemiddelde concentratie aan de VERA-verzamelleiding wordt vervolgens gecorrigeerd door de concentratie in de ingaande lucht ervan af te trekken om vervolgens te vermenigvuldigen met het daggemiddelde ventilatiedebiet. De emissie per dag werd vervolgens gedeeld door het aantal aanwezige dieren in de stal op het ogenblik van de metingen. In het ideale geval heb je voor elke dag van het jaar een emissiewaarde en tel je alle emissiewaarden per dag op om de totale ammoniakemissie over het jaar te kennen. Indien het aantal ontbrekende dagen beperkt zou zijn én de emissie een stabiel patroon vertoont, zouden de ontbrekende emissiewaarden ingeschat kunnen worden door interpolatie. Door het grote aantal ontbrekende emissiewaarden en het grillig emissiepatroon zal deze aanpak vermoedelijk leiden tot een foutieve inschatting van de werkelijke emissie. Omwille van deze reden werd, net zoals bij de ILVO-meetmethode, ervoor gekozen om alle beschikbare emissiewaarden op te tellen om vervolgens te delen door het aantal beschikbare dagen en te vermenigvuldigen met het aantal dagen per jaar. Net zoals bij de ILVO-meetmethode werd de emissiewaarde per jaar voor een traditionele melkveestal berekend als het gemiddelde van de herschaalde cumulatieve waarde van de vier stallen.

Op basis van de cumulatieve ammoniakemissies wordt met de VERA-meetmethode een gemiddelde ammoniakemissie van $14,70 \pm 1,97$ kg/dier/jaar bekomen.

Wanneer de emissiewaarden gestandaardiseerd worden volgens de methode beschreven in Ogink et al. (2014), zijn de emissiewaarden voor alle stallen lager dan wat bekomen werd voor de niet-gestandaardiseerde emissies. De vraag moet gesteld worden of het standaardiseren van de ammoniakemissiewaarden zal leiden tot een betere inschatting van de gemiddelde ammoniakemissie van een Vlaamse traditionele melkveestal. Om deze vraag positief te kunnen beantwoorden is het belangrijk (1) om zekerheid te hebben over de relatie tussen de parameters waarvoor werd gestandaardiseerd en de ammoniakemissie en (2) om zekerheid te hebben over de representatieve waarde voor deze parameters in Vlaanderen. Deze zekerheden kunnen op dit moment niet worden geboden. **Het lijkt ons bijgevolg raadzaam om deze standaardisaties niet toe te passen.**

Gezien een grote invloed kan verwacht worden van het bevuilde oppervlak in de stal op de ammoniakemissies, werden de ammoniakemissies bijkomend berekend per eenheid (m^2) bevuilde oppervlak. **Gemiddeld bedraagt de NH_3 -emissie bepaald met de ILVO-meetmethode $23,76 \pm 3,39$ g/dier/jaar/ m^2 bevuilde oppervlak. Met de VERA-meetmethode bedraagt de emissie $20,96 \pm 2,07$ g/dier/jaar/ m^2 bevuild oppervlak.**

De tijdserie en de grafiek van de cumulatieve emissies tonen dat de verschillen tussen de stallocaties kleiner zijn dan wanneer de emissies niet uitgedrukt worden per eenheid bevuild oppervlak. Bovendien is de relatieve standaarddeviatie kleiner door rekening te houden met het bevuilde oppervlak in de stal, nl. 14,3% ten opzichte van 26,9% bij de ILVO-meetmethode en 9,9% ten opzichte van 13,4% bij de VERA-meetmethode. **Dit kan een indicatie zijn dat een meer accurate inschatting kan gemaakt worden van de ammoniakemissie van een melkveestal als het bevuilde oppervlak in rekening wordt gebracht. Om dit met zekerheid te kunnen besluiten is een grotere steekproef noodzakelijk.**

De verhoudingen tussen de meetlocaties liggen anders bij de twee methodes. Bij de ILVO-meetmethode vertonen stal B1 en stal B4 een gelijkaardige emissie. Stal B3 heeft een veel lagere emissie (ongeveer de helft van stal B1 en B4). De emissie van stal B2 ligt tussen beide extremen in. Bij de VERA-meetmethode hebben stal B1, B2 en B4 een gelijkaardige emissie. Stal B3 heeft een

lagere emissie. **Een eenduidige verklaring voor de verschillen per meetlocatie kan momenteel niet gegeven worden.**

Beide meetmethodes hebben sterke en zwakke punten (Tabel 39). **Gezien de VERA-meetmethode eenvoudig toepasbaar en goedkoper is dan de ILVO-meetmethode lijkt de ontwikkeling van een hybride methode die aanleunt bij de VERA-meetmethode én geoptimaliseerd wordt, op basis van de inzichten opgedaan door toepassing van de ILVO-meetmethode, de meest aan te raden piste.**

Een gedetailleerde analyse van de verzamelde dataset volgt de komende maanden met o.a. een analyse van de verschillen tussen de ILVO- en de VERA-meetmethode en onderzoek naar de verschillen in de toepassing van de VERA-methode uitgevoerd door ILVO en Wageningen Livestock Research op dezelfde gemeten locaties. Daarnaast worden binnenkort ook de resultaten verwacht van het Nederlandse NAPRO-project waarbij de gebruikte CIGR-rekenregels vermoedelijk zullen wijzigen.

Ter conclusie kan gesteld worden dat het vooropgestelde doel, nl. de bepaling van de gemiddelde ammoniakemissie van een traditionele Vlaamse melkveestal, werd behaald. De informatie uit dit rapport kan door de overheid gebruikt worden om een ammoniakemissiefactor vast te stellen.

2 Inleiding

Dit rapport kadert binnen de referentietaken die ILVO uitvoert ten behoeve van het Beleidsdomein Omgeving. Het doel van deze meetcampagne is de bepaling van de gemiddelde ammoniakemissie van **een traditionele Vlaamse melkveestal**. In het MER-richtlijnenboek Landbouwdieren⁴ komt dit overeen met het stalsysteem 'overige huisvestingssystemen permanent opstallen' voor de diercategorie 'melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar', met een bijhorende ammoniak emissiefactor van 13 kg/dierplaats/jaar. Het is belangrijk om een duidelijk **onderscheid** te maken **tussen** de gemiddelde **ammoniakemissie** en de **emissiefactor** van een bepaalde combinatie van diersubcategorie en stalsysteem. Emissie is een wetenschappelijk-technische grootheid die door onderzoeksinstellingen of meetinstanties kan worden bepaald. Een emissiefactor is een juridische grootheid dat door een overheid wordt vastgesteld in regelgeving⁵. **Het doel van dit rapport is het bepalen van de gemiddelde ammoniakemissie. De informatie uit dit rapport kan vervolgens door de overheid gebruikt worden om een ammoniakemissiefactor vast te stellen.**

Voor de start van de meetcampagne werden de karakteristieken van een traditionele melkveestal opgelijst op basis van de input van een team van experts. Dit team stelde een lijst van randvoorwaarden samen aan welke een stal moet voldoen om als traditionele Vlaamse stal beschouwd te kunnen worden:

1. De ventilatie wordt gestuurd door windschermen aan beide lange zijden van de stal. De stal heeft een open nok.
2. De kopgevels van de stal zijn dicht en goed afsluitbaar met poorten.
3. De stal heeft een 0-6-0, 0-4-0 of 3-0-3 opbouw.
4. De stal heeft één van volgende types melkstand: visgraat, melkrobot, zij-aan-zij.
5. De stal heeft 100 tot 180 ligplaatsen.
6. Er wordt geen emissiereducerende techniek van de PAS-lijst toegepast in de stal. Er wordt dus geen beweiding toegepast. Mestschuiven of mestrobots zijn hierop een uitzondering (zie punt 7).
7. De stal heeft een roostervloer die maximaal viermaal per dag gereinigd wordt.

Bijkomend werden twee eisen geformuleerd die van meettechnische aard zijn en moeten toelaten de metingen zo correct mogelijk uit te voeren:

- De lange zijde van de stal staat ongeveer haaks op het zuidwesten.
- Er staan geen andere gebouwen ten zuidwesten van de stal op minder dan 50 m.

Via vakbladen en nieuwsbrieven werd een oproep verspreid naar Vlaamse veehouders die hun melkveestal ter beschikking wilden stellen voor de uitvoering van emissiemetingen. Achtentwintig veehouders reageerden op deze oproep. Hieruit werden, na het afnemen van een uitgebreide enquête en een plaatsbezoek, initieel **vier stallen** geselecteerd. Eén van deze stallen bleek onvoldoende nauwkeurig bemeetbaar met de ILVO-metmethode en werd omwille van deze reden vervangen door een andere stal. De gekozen stallen voldoen aan alle vooropgestelde voorwaarden.

Met deze meetcampagne wordt voor de eerste maal de ammoniakemissie bemeaten van Vlaamse melkveestallen.

⁴ https://omgeving.vlaanderen.be/sites/default/files/2024-06/20240611_RLB%20Landbouwdieren_bijlageemissiefactoren.pdf

⁵ [Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen \(versie 2\)](#)

3 Materiaal & methoden

3.1 Beschrijving van de melkveestallen en hun omgeving

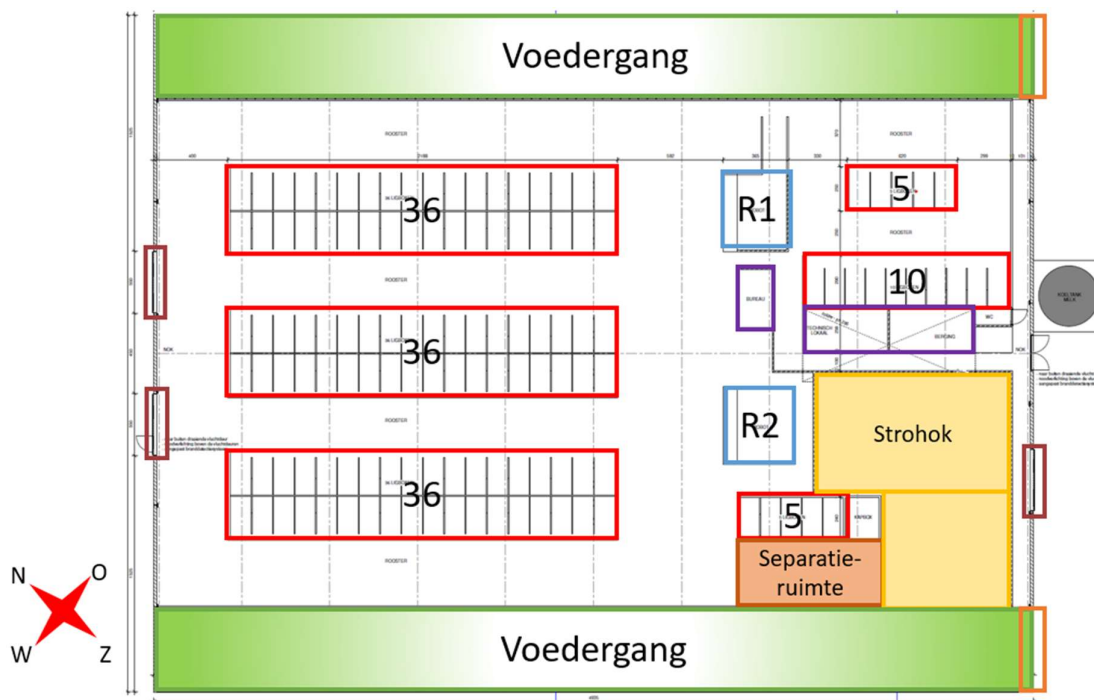
In de volgende hoofdstukken wordt een gedetailleerde omschrijving van de stallen en hun omgeving gegeven.

3.1.1 Stal B1

a. Stalindeling en -afmetingen

Een schematische weergave van de stalindeling is terug te vinden in Figuur 1. De stal meet 48 m bij 39 m en heeft een nokhoogte van 10 m. De stal is opgebouwd in een 0-6-0 opstelling. De stal heeft in totaal 123 ligplaatsen (excl. ligplaatsen in de separatieruimte) die voorzien zijn van een waterbed. De ligplaatsen van de melkgevende koeien zijn verdeeld in drie rijen met elk 36 ligplaatsen (2x18). De separatieruimte is voorzien van één enkele rij van vijf ligplaatsen. In de melkveestal is ook een ruimte voorzien van 15 ligplaatsen voor jongvee of droogstaande koeien (één enkele rij van 10 ligplaatsen en één enkele rij van 5 ligplaatsen). In de melkveestal is een strohok voorzien voor koeien die moeten kalven of pootproblemen hebben. Het totaal aantal vergunde dierplaatsen in de stal is 135.

De melkkoeien worden gemolken met behulp van twee melkrobots van Fullwood Packo in een opstelling met vrij koeverkeer in de melkveestal.



Figuur 1: Stalindeling van stal B1 met: Rood: ligbedden (cijfer geeft het aantal bedden), Blauw: melkrobots, Paars: technische ruimtes, Bruin: separatieruimte, Geel: strohok, Donkerbruin: schuifpoorten, Groen: voedergang en Oranje: sectionale poorten.

b. Mestmanagement

Het met mestbesmeurd oppervlak is 745 m², wat neerkomt op 6,06 m² per dierplaats. Het bevulde oppervlak werd bepaald door de oppervlakte van de roosters (die continu toegankelijk zijn voor

melkvee en jongvee/droge koeien) te delen door het aantal ligbedden (uitgezonderd de ligbedden in de separatieruimtes).

Een Pribot mestrobot met waterverneveling reinigt met een frequentie van driemaal per dag de loopvloer tussen de ligbedden en aan het voederhek en tweemaal per dag de vrije loopruimte aan de melkrobot en het achterste gedeelte van de stal. Er is geen logging voorzien op de aansturing van de mestrobot. Hierdoor is het niet mogelijk om de werkelijke schuiffrequentie te achterhalen.

Het mixen van de mest gebeurt enkel voor het uitrijden.

c. Ventilatieopeningen

In beide zijgevels zijn grote ventilatieopeningen aanwezig, voorzien van windschermen. De zijgevels aan de ZW- en NO-kant hebben een ventilatieopening van 3 m bij 47 m. De windschermen in deze ventilatieopeningen hebben een porositeit van 98% en worden automatisch gestuurd via een klimaatcomputer op basis van temperatuur, windsnelheid, windrichting en regenval gemeten op de nok aan de zuidoostelijke kopgevel.

Er zijn geen ventilatoren aanwezig in de stal.

De zuidoostelijke kopgevel heeft twee sectionale poorten die enkel opengaan voor de passage van de voederwagen. Beide schuifpoorten in de noordwestelijke kopgevel blijven steeds gesloten.

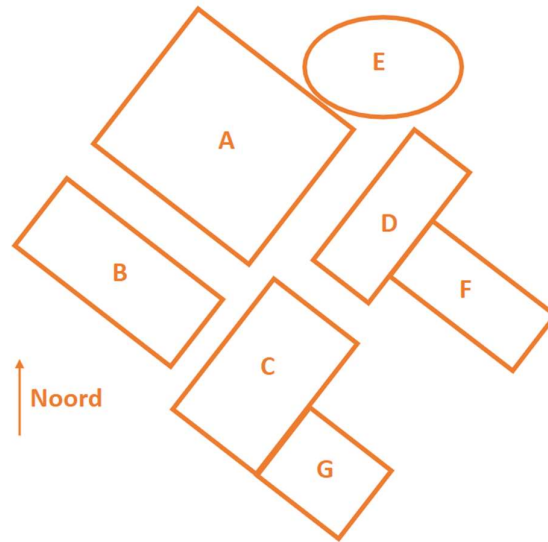
Het dak van de stal bevat vier lichtstraten en is niet geïsoleerd. In het dak is een oversteeknok aanwezig waarvan de uitlaatopening naar het noordoosten is gericht. De effectieve openingsbreedte van de nok bedraagt 5 cm (Figuur 2).



Figuur 2: Foto's van de nok in stal B1.

d. Ligging

Een schematische weergave van de melkveestal en omliggende gebouwen en obstakels is te zien in Figuur 3. De melkveestal (A) is georiënteerd met de zijgevel dwars op het zuidwesten. Op 15 m ten zuidwesten van de stal liggen twee sleufsilos voor de opslag van ruwvoeder (B) Figuur 3: Schematische weergave van de ligging en omgeving van melkveestal B1. De hoogte van deze silomuren zijn 2,5 m. Ten zuiden van de stal ligt een jongveestal (C) op ongeveer 8,3 m. Op 60 m ten zuidoosten van de stal ligt een stal voor kalveren (D). Aan de noordoostkant van de stal ligt een berg aarde (E; ca 3 m hoog) op 5 m langs 1/3^e van de lengte van de melkveestal.



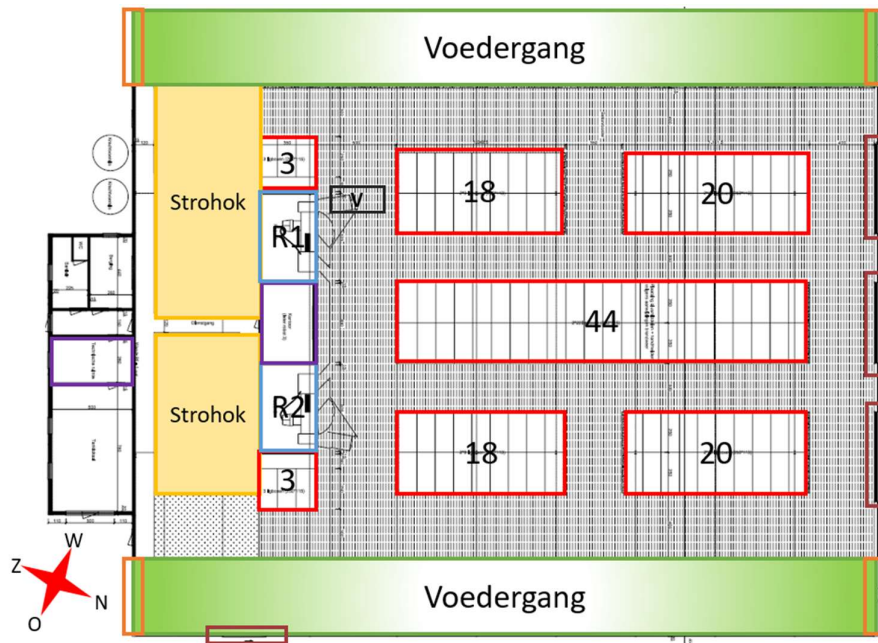
Figuur 3: Schematische weergave van de ligging en omgeving van melkveestal B1, met: A melkveestal, B sleufsilos, C jongveestal, D stal voor kalveren, E berg aarde, F bedrijfswooning en G mestopslag en sleufsilos.

3.1.2 Stal B2

a. Stalindeling en -afmetingen

De stal meet 46 m bij 39 m en heeft een nokhoogte van 12 m. Een schematische weergave van de stalindeling is terug te vinden in Figuur 4. De stal heeft in totaal 120 ligplaatsen (excl. ligplaatsen in de separatieruimte) voorzien van een mat (KRAIBURG type KKM) die dagelijks 2x bestrooid wordt met zaagsel. De stal is opgebouwd in een 0-6-0 opstelling. De ligplaatsen zijn verdeeld in drie rijen waarvan twee rijen opgesplitst zijn in 18 en 20 ligplaatsen. De middelste rij bestaat uit 44 ligplaatsen (2x22). Aan de linker- en rechterkant van de stal zijn er nog kleinere rijen met elk drie ligplaatsen, welke worden gebruikt als separatieruimte. Het totaal aantal vergunde dierplaatsen in de stal is 141.

De dieren worden gemolken door twee melkrobots van Lely in de opstelling met vrij koeverkeer in de melkveestal.



Figuur 4: Stalindeling van stal B2 met: Rood: ligbedden (cijfer geeft het aantal bedden), Blauw: melkrobots, Paars: technische ruimtes, Geel: strohok, /separatieruimte Donkerbruin: schuifpoorten, Groen: voedergang, Oranje: sectionale poorten, Zwart kader met V: ventilator.

b. Mestmanagement

Het met mestbesmeurd oppervlak is 679 m^2 wat dus neerkomt op $5,66 \text{ m}^2$ per dierplaats. Het bevuilde oppervlak werd bepaald door de oppervlakte van de roosters (die continu toegankelijk zijn voor melkvee en jongvee/droge koeien) te delen door het aantal ligbedden (uitgezonderd de ligbedden in de separatieruimtes).

Een Lely mestrobot reinigt de roostervloeren viermaal per dag. Het mixen van de mest gebeurt enkel voor het uitrijden.

c. Ventilatieopeningen

De ZW-zijgevel heeft een ventilatieopening van 3,5 m bij 39 m en de NO-zijgevel heeft een ventilatieopening van 3,5 m bij 36 m. Beide openingen kunnen worden afgeschermd met windschermen met een porositeit van 98%. Deze windschermen worden manueel bediend. Het dak van de stal bevat vier lichtstraten, is niet geïsoleerd en bevat een oversteeknok (Figuur 5). De opening van de oversteeknok is naar het noordoosten gericht. De effectieve openingsbreedte van de nok is 35 cm en is 46 m lang.

Er is één temperatuur geregelde ventilator aanwezig in de stal die van ZW naar NO blaast over de loopruimte voor de melkrobots. Deze ventilator is geplaatst als preventiemaatregel voor hittestress en wordt pas geactiveerd vanaf een staltemperatuur van 28°C

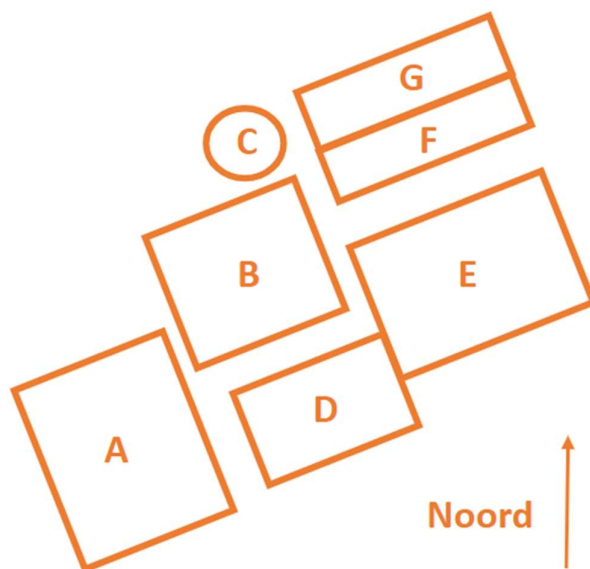
De stal heeft vier sectionale poorten in de kopgevels die enkel opengaan voor de passage van de voederwagen of op warme dagen om extra ventilatie te creëren. Deze zijn gepositioneerd aan beide kanten van de voedergang.



Figuur 5: Oversteeknok van stal B2.

a. Ligging

Een schematische weergave van de melkveestal en omliggende gebouwen en obstakels is te zien in Figuur 6. De melkveestal (A) is met de zijgevels loodrecht op het ZW gericht. Ten zuidwesten van de stal bevinden zich geen obstructies. De dichtstbijzijnde emissiebron is een ander landbouwbedrijf op een afstand van 200 m. De jongveestal/stal met droge koeien (D) ligt ten NO van de melkveestal. Ten noorden van de melkveestal liggen vier sleufsilos voor de opslag van ruwvoeder (G). Dit bedrijf heeft een externe opslag voor drijfmest (C). Daarnaast is er ook nog een opslag voor machines en opfok van jongvee (E). Gebouw F wordt gebruikt voor opslag van machines en stro.

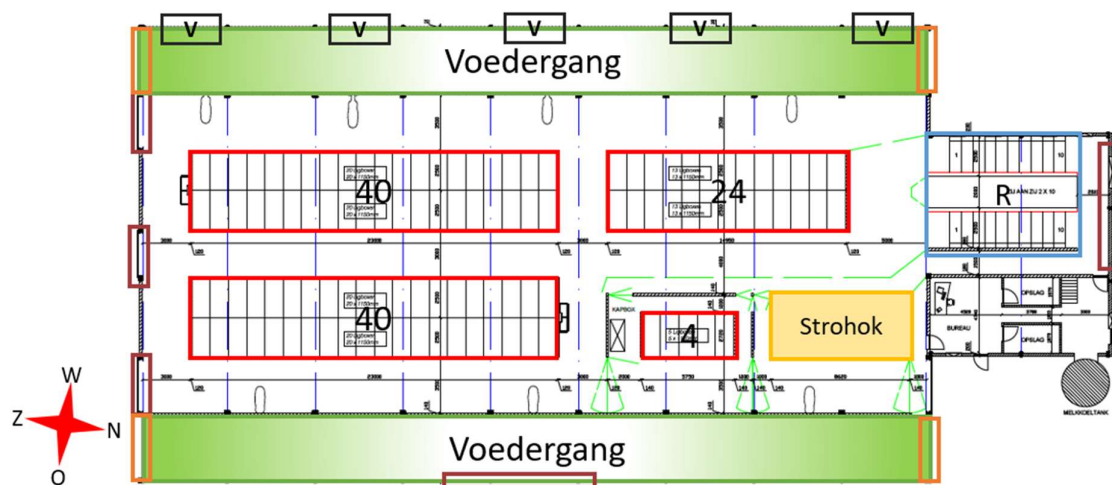


Figuur 6: Schematische weergave van de ligging en omgeving van melkveestal B2 met: A melkveestal, B sleufsilos, C externe opslag voor drijfmest, D stal met droge koeien en jongvee, E stal voor jongvee en een opslag voor machines, F opslag voor stro en machines, G sleufsilos.

3.1.3 Stal B3

a. Stalindeling en -afmetingen

De stal meet 29 m bij 50 m en heeft een nokhoogte van 9 m. Een schematische weergave van de stalindeling is terug te vinden in Figuur 7. De stal heeft in totaal 104 ligplaatsen (excl. ligplaatsen in de separatieruimte) voorzien van diepstrooiselboxen. De stal is opgebouwd in een 0-4-0 opstelling. De ligplaatsen zijn onderverdeeld in een bovenste rij, die bestaat uit 40 (2x20) en 24 (2x12) ligplaatsen en een onderste rij met 40 (2x20) ligplaatsen. De ligboxen worden ingestrooid met een mengsel van stro en kalk. De melkveestal heeft ook een separatiebox met vier ligplaatsen. De dieren worden gemolken door zij-aan-zij rapid exit van Boumatic met 2 x 12 standplaatsen. De koeien worden tweemaal per dag gemolken ('s morgens/ 's avonds). Tijdens het melken wordt de middengang (tussen de ligboxen) gebruikt als wachruimte. De melkveestal heeft een strohok, welke tevens dient als separatieruimte. Het totaal aantal vergunde dierplaatsen voor de hele stal is 115.



Figuur 7: Stalindeling van stal B3 met: Rood: ligbedden (cijfer geeft het aantal bedden), Blauw: melkstand, Geel: strohok/separatieruimte, Donkerbruin: schuifpoorten, Groen: voedergang, Oranje: sectionale poorten en Zwart kader met V: ventilator.

b. Mestmanagement

Het bevuilde oppervlak is 564 m² wat dus neerkomt op 5,43 m² per dierplaats. Het bevuilde oppervlak werd bepaald door de oppervlakte van de roosters (die continu toegankelijk zijn voor melkvee en jongvee/droge koeien) te delen door het aantal ligbedden (uitgezonderd de ligbedden in de separatieruimtes).

Een Lely mestrobot reinigt de roostervloeren twee- tot viermaal per dag. Het mixen van de mest gebeurt enkel voor het uitrijden.

c. Ventilatieopeningen

De zijgevel langs de ZW-kant van de stal heeft een ventilatieopening van 3 m bij 44 m. Bij de zijgevel langs de NO-kant van de stal is de ventilatieopening in twee delen gescheiden door de aanwezigheid van een schuifpoort. De grootste opening heeft een afmeting van 3 m bij 23 m, de kleinste opening een afmeting van 3 m bij 13 m. Aan de kopgevel ter hoogte van melkstand is er een schuifpoort die bij warm weer open staat.

De ventilatieopeningen in de zijgevels zijn uitgerust met windschermen met een porositeit van 90%. De windschermen worden manueel gestuurd.

Er zijn vijf ventilatoren (Abbifan) aanwezig in de stal. De ventilatoren draaien minimum 5% vanaf -8°C. Vanaf een staltemperatuur van 20°C schalen de ventilatoren automatisch op tot 100% bij 24,3°C. De ventilatoren hangen in het scherm op de ZW-kant en ventileren in de breedterichting, van ZW-kant naar NO-kant.

De stal heeft een open nok met opstaande wanden (Figuur 8) met een openingsbreedte van 19 cm en is 42 m lang.



Figuur 8: Nok met opstaande wanden van stal B3.

d. Ligging

Een schematische weergave van de melkveestal en omliggende gebouwen en obstakels is te zien in Figuur 9. De melkveestal (A) is met de zijopeningen loodrecht op het zuidwesten gericht. Ten zuidwesten van de stal zijn geen obstructies. Net naast de melkveestal (oosten) ligt een loods met een opslagruimte voor machines en een ruimte voor droge koeien (C). Naast gebouw C ligt een jongveestal (D). Gebouw G wordt gebruikt voor jongvee en droge koeien. Gebouw E is een stal met vleesvarkens. Ten zuiden van de melkveestal liggen zes sleufsilos (B). Naast de sleufsilos ten oosten staat nog een openfront voor opslag van losse voeders. De bedrijfswoning (J) ligt ten noorden van de melkveestal. H en F zijn gebouwen voor opslag.

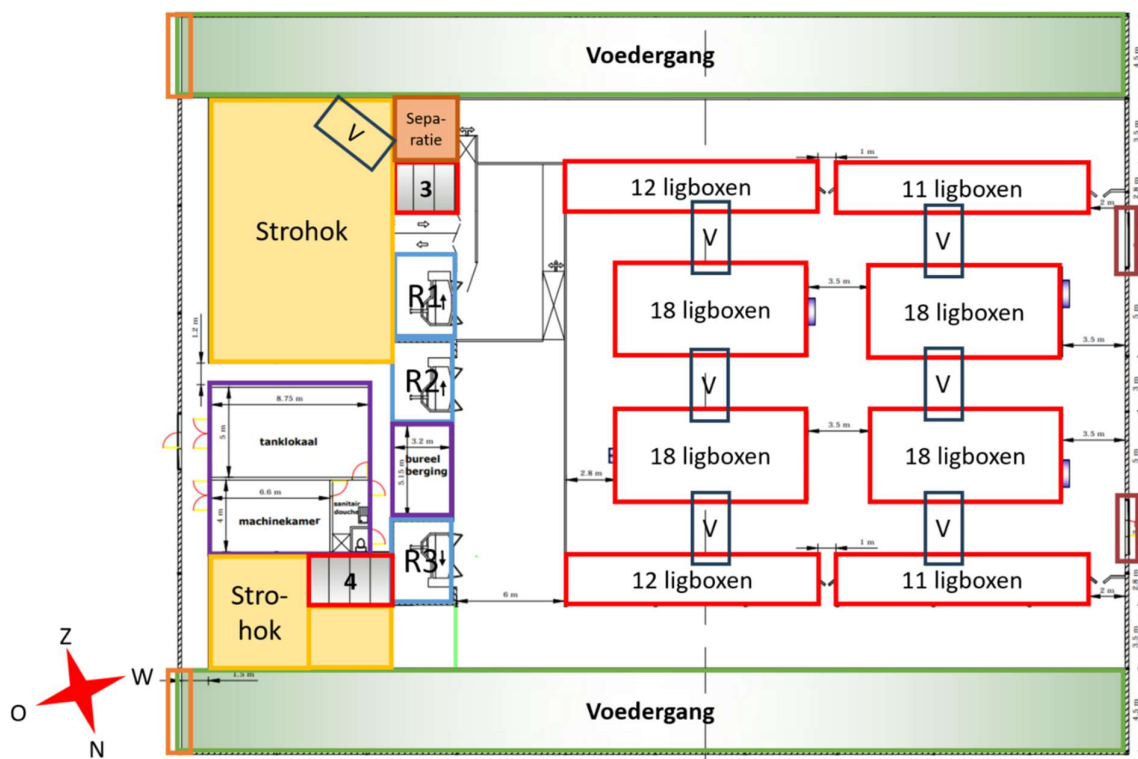


Figuur 9: Schematische weergave van de ligging en omgeving van melkveestal B3, met: A melkveestal, B sleufsilos, C gedeeltelijk opslag van machines en gedeeltelijk een ruimte voor droge koeien, D jongveestal, E stal met vleesvarkens, F opslagruimte, G stal voor jongvee en droge koeien, H opslagruimte, I opslag voor voeders en J bedrijfswoning.

3.1.4 Stal B4

a. Stalindeling en -afmetingen

De stal meet 53 m bij 41 m en heeft een nokhoogte van 10 m. Een schematische weergave van de stalindeling is terug te vinden in Figuur 10. De stal heeft in totaal 118 ligplaatsen (excl. ligplaatsen in de separatieruimte) voorzien van een mat van Delaval type M45R die dagelijks tweemaal bestrooid wordt met een mengeling van zaagsel en kalk. Het aantal vergunde dierplaatsen is 120. De ligplaatsen zijn opgedeeld in vier rijen: de bovenste en onderste rijen bevatten elk een rij van 12 ligboxen en een rij van 11 ligboxen; de 2 middelste rijen bevatten elk 18 (2x9) ligboxen. In de melkveestal is een strohok voorzien. Aan het strohok zijn er nog twee ligboxen en aan de technische ruimtes zijn er nog eens vijf aparte ligboxen die dienen als separatieruimte.



Figuur 10: stalindeling stal B4 met: Rood: ligbedden (cijfer geeft het aantal bedden), Blauw: melkrobots, Paars: technische ruimte, Geel separatieruimte/strohok, Donkerbruin: schuifpoorten, Groen: voedergang, Oranje: sectionale poorten, Zwarte kaders met V: ventilatoren.

b. Mestmanagement

Het met mestbesmeurd oppervlak is 837 m² wat dus neerkomt op 7,09 m² per dierplaats. Het bevuilde oppervlak werd bepaald door de oppervlakte van de roosters (die continu toegankelijk zijn voor melkvee en jongvee/droge koeien) te delen door het aantal ligbedden (uitgezonderd de ligbedden in de separatieruimtes).

Een Delaval mestrobot reinigt de roostervloeren viermaal per dag. Het mixen van de mest gebeurt enkel voor het uitrijden.

c. Ventilatieopeningen

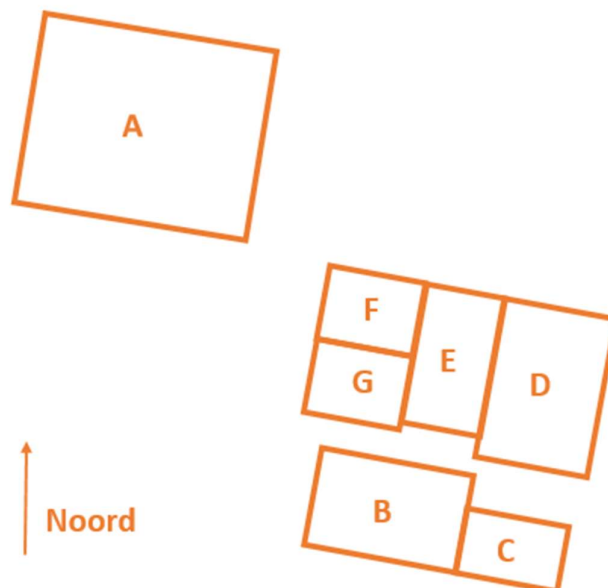
Beide zijgevels hebben ventilatieopeningen van 2,5 m bij 51 m (ZW) en 2,5 m bij 53 m (NO) met windschermen met een porositeit van 98%. De windschermen aan de zijgevels worden manueel bediend. Aan de achterste kopgevel zijn twee schuifpoorten die altijd open staan om extra ventilatie in de stal te krijgen, behalve tijdens de koude wintermaanden.

Er zijn zes ventilatoren geïnstalleerd boven de dubbele rijen met ligboxen. Deze ventilatoren verplaatsen lucht dwars over de ventilatierichting. Deze ventilatoren beschikken over lamellen met als functie extra verkoeling te geven boven de ligboxen. Deze worden geregeld op basis van staltemperatuur. Bij 18°C starten de ventilatoren op een minimum van 5% en draaien aan 100% van de capaciteit bij 25°C. Boven de strobox hangt één ventilator. Deze wordt manueel geregeld met functie aan of uit. Deze ventilator is gepositioneerd aan het voederhek en ventileert van ZW naar de strobox toe.

De uitlaatopening van de oversteeknok heeft een opstaande kant. De effectieve openingsbreedte van de nok is 25 cm en heeft een totale lengte van 51 m.

d. Ligging

Een schematische weergave van de melkveestal en omliggende gebouwen en obstakels is te zien in Figuur 11. De melkveestal (A) is met de zijopeningen loodrecht op het zuidzuidwesten gericht. Ten zuidwesten van de stal zijn geen obstructies. Er zijn geen emissiebronnen op minder dan 200 m van het bedrijf. De gebouwen B, C, E en F dienen voor de opslag van machines, opgroei van jongvee en kalveren en droge koeien. Op plaats D liggen zeven sleufsilos.



Figuur 11: Schematische weergave van de ligging en omgeving van melkveestal B4, met: A melkveestal, B machineopslag, C opfok van jongvee en kalveren en droge koeien, D sleufsilos, E opfok van jongvee en kalveren en droge koeien, F machineopslag en G bedrijfswoning.

3.2 Meteorologische data

De meteorologische gegevens van elke stal werden gedurende de volledige meetperiode verkregen via het dichtstbijzijnde meetstation van het KMI of KNMI. Bij de keuze van het meetstation werd gezocht naar een meetstation met een gelijkaardige klimatologische omgeving die overeenkomt met de stal. Hiermee wordt bedoeld dat een meetstation aan de kust bijvoorbeeld niet gebruikt werd voor een stal die tientallen kilometers landinwaarts staat (of vice versa). De uurlijkse synoptische data (gemiddelde, minimale en maximale temperatuur, windrichting, windsnelheid, neerslaghoeveelheid, etc.) werden opgevraagd bij het KMI via een Python package (*openkmi*). Voor één stal bevond het dichtstbijzijnde meetstation zich in Nederland, daarom werd in dat geval de synoptische data van dit meetstation bij het KNMI opgevraagd. De meteorologische data werden gebruikt om de omstandigheden van de emissiemetingen te duiden. Daarnaast werd de temperatuur gebruikt voor de conversie van ppm naar $\mu\text{g}/\text{m}^3$ via de algemene gaswet.

3.3 Landbouwkundige randvoorwaarden

De onderzoekslocaties waar emissiemetingen plaatsvinden in het kader van een erkenning van een emissiereducerende techniek of maatregel moeten representatief zijn voor de praktijk⁶. In dit rapport bepalen we niet de efficiëntie van een emissiereducerende techniek of maatregel, maar wel de emissie van een traditionele melkveestal waar geen emissiereducerende maatregelen worden toegepast. Evenwel geldt ook hier de regel dat de stallen representatief moeten zijn voor de populatie van de Vlaamse melkveestallen.

Om te kunnen toetsen of onderzoekslocaties representatief zijn, werden per diersubcategorie landbouwkundige randvoorwaarden opgesteld. De meest recente richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen die door een Vlaams-Nederlandse werkgroep werd gepubliceerd in november 2024, omvatten een geactualiseerde versie van de landbouwkundige randvoorwaarden⁶. We hebben deze voor melkvee opgenomen in Bijlage 7.1 van dit rapport.

In Tabel 1 worden de landbouwkundige randvoorwaarden voor melkvee opgelijst, samen met de manier waarop deze gegevens tijdens de meetperiode opgevolgd werden.

Tabel 1: Landbouwkundige voorwaarden en wijze van controle van deze voorwaarden tijdens de meetperiode zoals vermeld in [Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen \(versie 2\)](#).

Categorie	Voorwaarde	Bepaald via
Huisvesting	Het aantal droogstaande dieren mag gedurende de metingen niet meer dan 20% van het aantal melkkoeien (droogstaand plus melkgevend) bedragen.	Gegevens van melkrobot en verwerkend programma Unifarm
	Het aantal stuks jongvee mag gedurende de metingen niet meer dan 20% van het totale aantal melkkoeien (melkgevend en droogstaand) bedragen	Gegevens van melkrobot en verwerkend programma Unifarm
	Op meetdagen mag het aantal in de stal aanwezige dieren (melkkoeien plus jongvee) niet meer dan 10% afwijken (zowel naar beneden als boven) van het aantal in de stal aanwezige ligboxen.	Gegevens van melkrobot en verwerkend programma Unifarm
	De melkgevende dieren worden in de meetstal gemolken	Stalbeschrijving

⁶ [Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen \(versie 2\)](#)

	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".	Opmerkingen in digitaal logboek
	Voor iedere koe dient er een ligplaats te zijn.	Stalbeschrijving + Gegevens van melkrobot
Klimaat	De koeien worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de stal op dierniveau onder de 2000 ppm blijft.	Gasanalyser
Voeding	De droge stof opname moet voor minimaal 80% uit ruwvoer bestaan en minimaal 150 g ruw eiwit per kg droge stof bevatten.	De bijdrage van ruwvoer is gebaseerd op rantsoenberekeningen van de bedrijven. De gemiddelde krachtvoederopname wordt geregistreerd via krachtvoederautomaten.
Productie	Voor een gangbaar bedrijf dient de gemiddelde melkgift minimaal 25 kg meetmelk/koe/dag te zijn. Het tankmelkureum getal dient minimaal 15 mg/100 mL te zijn.	Gegevens van melkrobot
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 5. Houden van runderen voor productie". De dieren op een gangbaar bedrijf krijgen standaard veterinaire zorg.	Opmerkingen in digitaal logboek
Aantal dieren	Het aantal melkgevende en droogstaande koeien dient minimaal 30 te zijn.	Gegevens uit melkrobot
Registratie	<i>Tijdens de metingen en minimaal 4 weken voorafgaand aan de metingen:</i> <ul style="list-style-type: none"> - Rantsoensamenstelling (minimaal: DS %, RE totaal, VEM, DVE, OEB en EF-CH4) van het TMR (total mixed ration) of de individuele voercomponenten van de lacterende koeien, droogstaande koeien, drachtig jongvee en niet-drachtig jongvee (indien aanwezig in de meetstal) - Ureumgetal van de melk (tankureumgetal) - Aantal melkkoeien, droogstaande koeien, drachtig jongvee en niet-drachtig jongvee op dagniveau <i>Tijdens de metingen:</i> <ul style="list-style-type: none"> - Mestpeil (cm; afstand kelderbodem - mestoppervlak) en aanwezige mestvolume (m³) in de mestkelder. 	Gegevens uit melkrobot, rantsoenberekeningen, gegevens uit krachtvoederautomaten, opmerkingen in digitaal logboek.

	<ul style="list-style-type: none"> - Frequentie: maandelijks én voorafgaand aan en na afloop van het verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - Datum, tijdstip (start- en eindtijd) en methode van (drijf)mest mixen - Datum en tijdstip (start- en eindtijd) van verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - CO₂-concentratie, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid in de stal - De wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnswaarden 	
--	--	--

3.4 Gehanteerde meetstrategie en meetmethodes

Het doel van de meetcampagne is om de gemiddelde jaarlijkse emissie van een traditionele, natuurlijk geventileerde melkveestal in Vlaanderen vast te stellen. Om deze emissiewaarde te bepalen werd er gebruik gemaakt van een *multi-farm approach* als meetstrategie. Hiervoor werden vier stallen verspreid in Vlaanderen geselecteerd en gedurende één jaar bemeten. Deze stallen voldeden allemaal aan de hier vooraf opgestelde definitie van een traditionele melkveestal (zie 2 Inleiding).

Binnen deze meetcampagne werden **twee verschillende meetmethodes** toegepast om de emissies van de vier stallen te bepalen. De eerste is **een door ILVO ontwikkelde meetmethode** op basis van het onderzoek van Van Overbeke et al. (2016) en De Vogelee et al. (2017). Bij de ILVO-metmethode worden de ventilatiedebieten bepaald op basis van luchtsnelheidsmetingen in de stalopeningen. Ook de gasconcentraties van de uitgaande lucht worden gemeten aan de stalopeningen. De tweede **meetmethode is gebaseerd op het VERA-protocol** dat gebruikt wordt in diverse Europese landen zoals Nederland, Duitsland en Denemarken (VERA, 2018). Bij de toepassing van de meetmethode zoals omschreven in het VERA-protocol, worden de emissies bepaald met behulp van de tracer gas ratio methode. De ventilatiedebieten worden berekend op basis van het verschil in CO₂ in en rond de stal en de verwachte productie van CO₂ door de aanwezige dieren. Bij deze meetmethode worden de gasconcentraties centraal in de stal gemeten.

Een overzicht van de meetperiodes per stal is te vinden in Tabel 2.

Meer gedetailleerde informatie over beide methodes kan teruggevonden worden in sectie 3.5 Ammoniakconcentraties en sectie 3.6 Ventilatie-debieten.

3.4.1 Meetperiode en -intensiteit

Op elk van de vier stallocaties werd gedurende een jaar gemeten, gebruik makend van beide meetmethodes. Tabel 2 toont een overzicht van de meetperiodes per meetlocatie.

Tabel 2: Overzicht van de meetperiodes per meetlocatie.

Locatie	Periode
B1	01-01-2023 tot 01-01-2024
B2	01-05-2023 tot 01-05-2024
B3	01-10-2023 tot 01-10-2024
B4	01-10-2023 tot 1-10-2024

Op het gebied van meetintensiteit werd gekozen om niet te werken met discrete meetdagen verdeeld over de totale meetperiode van een jaar (zoals voorgeschreven in het VERA meetprotocol),

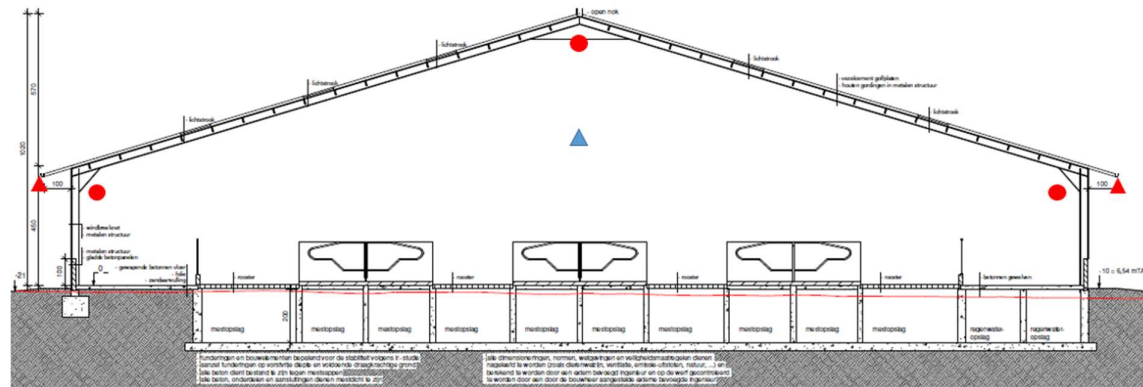
maar wel om de meetapparatuur continu te laten doormeten. Hiermee trachten we een zo correct mogelijke inschatting te maken van de werkelijke ammoniakemissie van elke stal. Bovendien biedt dit de mogelijkheid inzicht te krijgen in de mate waarin de ammoniakemissie varieert doorheen het meetjaar.

3.5 Ammoniakconcentraties

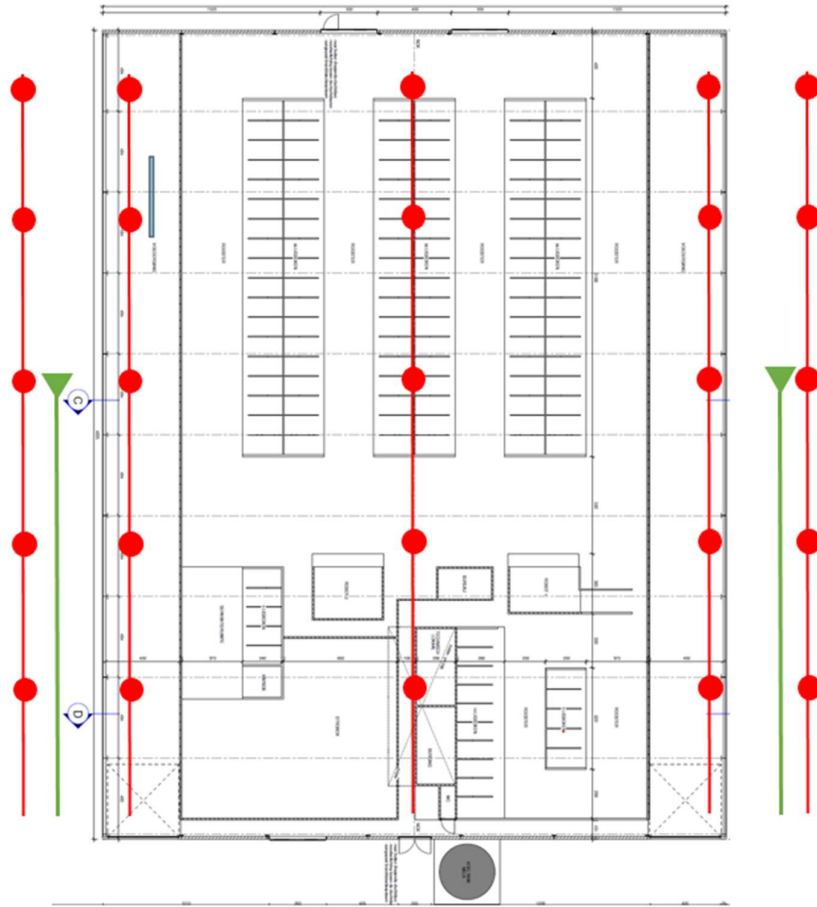
Het voornaamste verschil tussen de VERA- en ILVO-meetmethode op gebied van ammoniak concentratiemetingen zijn de locaties waar de bemonstering van lucht voor de bepaling van de ammoniakconcentraties plaats vindt (3.5.1 Locaties verzamelleidingen). De gebruikte materialen voor de leidingen en de gasanalyzers zijn voor beide meetmethodes gelijk en worden omschreven in 3.5.2 Meetopstelling.

3.5.1 Locaties verzamelleidingen

Figuur 12 en Figuur 13 tonen een schematische weergave van de ligging van de verzamelleidingen voor zowel de ILVO- als de VERA-meetmethode.



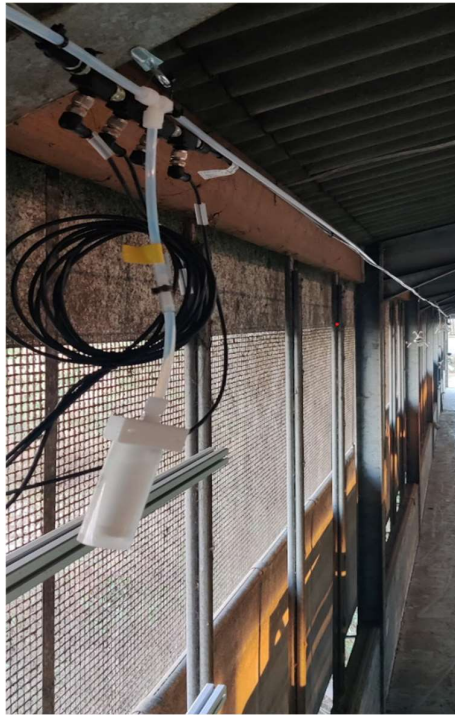
Figuur 12: Vooraanzicht van een schematische weergave van de verzamelleidingen. De rode bollen zijn de leidingen gebruikt voor de ILVO-meetmethode, de blauwe driehoek is de leiding in de stal gebruikt voor de VERA-meetmethode, de rode driehoeken zijn de leidingen voor het bemonsteren van de ingaande lucht.



Figuur 13: Bovenaanzicht van een schematische weergave van de verzamelleidingen. De rode lijnen zijn de verzamelleidingen, de rode bollen de staalnamepunten (kritische capillairen). De groene lijnen zijn de leidingen in het geval er voor een puntmeting wordt gekozen. De groene driehoek geeft het staalnamepunt aan.

a. ILVO-meetmethode

In de stal werden drie verzamelleidingen geplaatst waarvan twee op ongeveer 20 tot 30 cm stal inwaarts van de NO- en ZW-opening en één ongeveer 50 cm onder de nok (Figuur 14). De staalnamepunten van de verzamelleidingen aan de zijopeningen bevonden zich ongeveer 10 cm onder de bovenkant van de stalopening (Figuur 14).



Figuur 14: (links) foto van staalnamepunt aan zijopening van stal, (rechts) foto van staalnamepunt onder nok.

Buiten de stal werd standaard één staalnamepunt ter hoogte van het centrum van beide zijopeningen voorzien aan de dakrand (met uitzondering van stal B4 waarbij de puntmeting op 5 m van de stal werd uitgevoerd). Indien in een straal van 200 m van de stal een ammoniakbron aanwezig was, werd dit uitgebreid naar een verzamelleiding (Figuur 15):

- stal B1 ZW kant op 5 m van de stal
- stal B2 NO kant aan dakrand
- stal B3 NO kant aan dakrand



Figuur 15: (links) Foto van 1 staalnamepunt buiten de stal in centrum van zijopening, (rechts) foto van verzamelleiding buiten de stal.

b. VERA-meetmethode

Zoals voorgeschreven in het VERA-protocol werden de staalnamepunten **in de stal** op minstens 3 m boven de vloer geplaatst. Er werd gekozen om de verzamelleiding 3 m onder de nok te plaatsen. De kleinste afstand van de verzamelleiding tot de vloer bedroeg hiermee 6 m, met name in stal B3 (laagste nok van alle stallen, nl. op 9 m hoogte).

Buiten de stal werden dezelfde (verzamel)leidingen gebruikt zoals omschreven bij de ILVO-meetmethode.

3.5.2 Meetopstelling

De verzamelleidingen waren gemaakt van PTFE (PolyTetraFluorEthyleen) in stal B1 en van PE (PolyEthyleen) in de andere drie stallen. De staalnamepunten werden per 10 meter op de verzamelleiding geïnstalleerd (Figuur 14). Deze staalnamepunten bestonden uit kritische capillairen, uitgerust met een filter, die een debiet van 1,2 l/min per staalnamepunt garanderen. Op deze manier werd een uniforme staalname over de lengte van de verzamelleiding verzekerd. Met behulp van pompen werd de lucht doorheen de leidingen naar een meetwagen (Figuur 16) gebracht.



Figuur 16: Foto van meetwagen.

Elke verzamelleiding was geconnecteerd met een meetbuis (Figuur 17). Vanaf deze meetbuis wordt gas gesampled door de gasanalyzer. Omdat het niet mogelijk is om 6 meetbuizen tegelijk te meten met één analyzer, wordt gebruik gemaakt van een multiplexer. Deze multiplexer wisselt iedere 10 minuten van meetbuis wat ervoor zorgt dat iedere meetbuis één keer per uur bemeten wordt.



Figuur 17: Foto van meetbuizen en multiplexer.

Er werd een bypass pomp gebruikt om continue gasstroom door alle leidingen te verzekeren. Dit minimaliseert het risico op condensatie in de leidingen en zorgt ervoor dat er geen extra vertraging optreedt tussen staalname en analyse door de grote lengte van de meetleidingen en eventuele adsorptie effecten in de meetleidingen.

Diverse gasanalyzers werden gedurende de meetcampagne ingezet:

- Picarro Cavity Ring-down Gas Concentration Analyzer (Picarro Inc., Santa Clara, CA, Verenigde Staten)
 - o model G2103 (single gas NH₃ analyzer)
 - o model G2508⁷ (NH₃, CO₂, N₂O, CH₄, H₂O)⁸
- Axetris meetbox (meetbox ontworpen en samengesteld door ILVO) met volgende modules van Axetris (Kägiswil, Zwitserland): (1) Gas Detector model LGD F200-A (NH₃-concentraties), (2) Tunable Diode Laser (TDL) Gas Detector model LGD F200-A (CH₄-concentraties)⁸ en een Smartgas FLOW EVO CO₂ sensor (smartGAS Mikrosensorik GmbH, Heilbronn, Duitsland).

Een overzicht van de gebruikte analyzers kan gevonden worden in Tabel 3: Gebruikte analyzers per locatie.

Tabel 3: Gebruikte analyzers per locatie.

Locatie	Periode	Analyzer
B1	1-1-2023 tot 1-1-2024	Picarro G2508
B2	1-5-2023 tot 18-3-2024	Picarro G2301 + Axetris 0*
	19-3-2024 tot 1-5-2024	Axetris 4
B3	1-10-2023 tot 1-10-2024	Axetris 1
B4	1-10-2023 tot 1-1-2024	Axetris 2
	1-1-2024 tot 1-10-2024	Axetris 3

*Axetris 0 is een meetbox zonder NH₃ gas detector

⁷ Deze analyzer (G2508) bevatte enkele upgrades t.o.v. de standard versie, namelijk een extended CH₄ operating mode en een upgrade met teflon coating en flow automatisering om de respons tijd te verbeteren.

⁸ In dit onderzoek werden enkel de meetgegevens van NH₃ en CO₂ verwerkt.

3.6 Ventilatiegebieten

3.6.1 ILVO-meetmethode

Bij de ILVO-meetmethode worden de ventilatiegebieten bepaald op basis van windsnelheidsmetingen door de ventilatieopeningen van de stal. Een gedetailleerde omschrijving van deze methode is te vinden in Coorevits et al. (2025). Onderstaande alinea's omschrijven hoe deze methode concreet werd toegepast op de vier stallocaties.

a. Ultrasonische anemometers

De luchtsnelheidsmetingen werden uitgevoerd met behulp van ultrasonische anemometers. Deze toestellen meten de luchtsnelheid aan de hand van de time-of-flight tussen de verzender van een ultrasonische geluidspuls en de ontvanger van deze puls. In de zijopeningen van Stal B1 werden 2D Thies sensoren gebruikt (Ultrasonic Anemometers 2D 4.382x.0x.xxx; Adolf Thies GmbH & Co. KG, Göttingen, Duitsland). Bij alle andere stallen, alsook in de nok van stal B1, werden 2D anemometers van het type Windsonic 75 gebruikt (Gill Instruments Limited, Hampshire, Verenigd Koninkrijk). De data, meer bepaald de vectorwaarden, werden per minuut verzameld en uitgemiddeld naar 10 minuten data.

Om een representatieve inschatting te maken van de luchtsnelheden doorheen de zijopeningen werden op twee locaties per zijopening, nl. op 1/3 en 2/3 van de lengte van een zijopening, vier ultrasonische anemometers geplaatst in een verticaal profiel. Ze werden op 30, 55, 75 en 90% van de opening hoogte, gezien vanaf de onderkant van de zijopening, geïnstalleerd (Figuur 18; Figuur 19).

In stal B4 werden bijkomend acht anemometers geïnstalleerd:

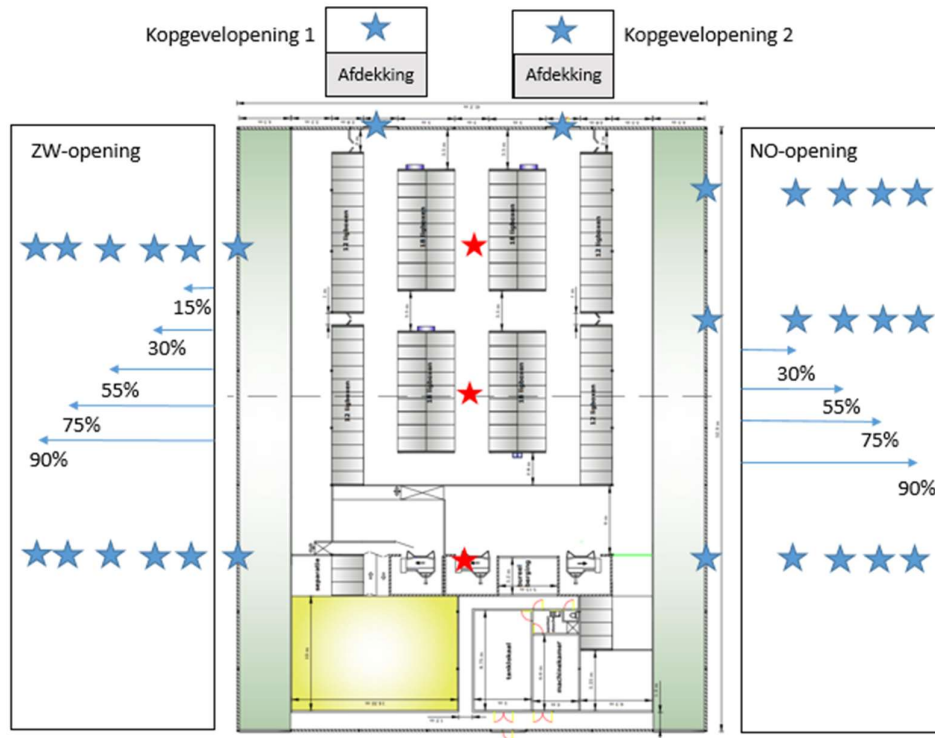
- Eén extra verticaal profiel met vier anemometers in de NO-opening.
- Een vijfde anemometer in elk van de verticale profielen in de ZW-opening, op 15% van de totale hoogte van de opening.
- Twee extra anemometers in de openingen van de kopgevel

Een overzicht van alle aanwezige anemometers in stal B4 wordt getoond in Figuur 18. Een beschrijving van de redenen om deze extra anemometers te installeren wordt hieronder toegelicht.

De landbouwer van stal B4 had gewikkelde pakken voordroog geplaatst ter hoogte van één van de verticale profielen in de NO-opening, daarom werd een extra verticaal anemometer profiel geïnstalleerd tussen de anemometers die hinder zouden kunnen hebben van de hooibalen en de zijkant van de opening.

Langs de ZW-opening van stal B4 werd gedurende de meetperiode maïs geplant. Er werd gevreesd dat het gewas een grillig snelheidsprofiel zou kunnen veroorzaken. Omwille hiervan werd gekozen om een vijfde anemometer onderaan in de twee verticale profielen in de ZW-opening te plaatsen. Dit op 15% van de totale hoogte van de opening.

In stal B4 waren er aan de kopgevel, aan de kant zonder de toegangspoorten, twee extra openingen die gedurende het grootste deel van de meetcampagne open bleven (enkel in de winter waren de openingen dicht). In elk van deze opening werd een extra anemometer geïnstalleerd op 1 m van de dichtstbijzijnde muur van de opening en op een hoogte van 1 m boven de plaat in de opening.

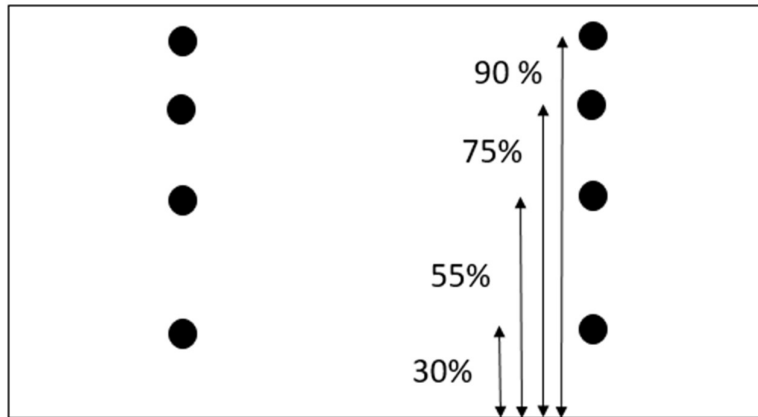


Figuur 18: Detail van de positionering van de anemometers in melkveestal B4. De blauwe sterren geven de positie van de anemometers in de zij- en kopgevels aan. De rode sterren geven de positie van de anemometers in de nok aan. De kaders naast het plattegrond geven een detail van de positionering van de anemometers in de opening. De gegeven percentages tonen de hoogte van de anemometers relatief ten opzichte van de totale hoogte van de opening.

b. Schermen

De ventilatie doorheen de stal werd in alle melkveestallen geregeld met behulp van windschermen in de zijopeningen. Deze windschermen konden op iedere positie staan, van helemaal open tot helemaal afgesloten. Afhankelijk van de meetlocatie werd de positie van de windschermen automatisch of manueel door de veehouder geregeld (zie 3.1 Beschrijving van de melkveestallen en hun omgeving).

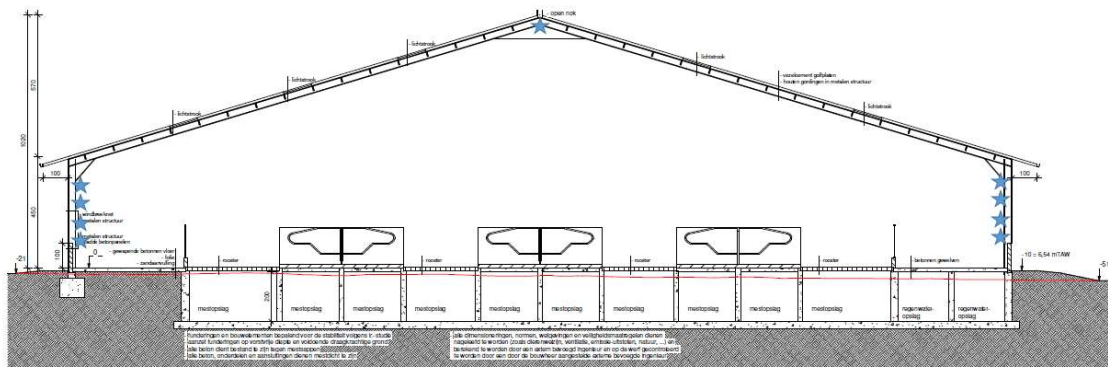
Voor het bepalen van het ventilatiedebiet doorheen de stal is het belangrijk dat de schermhoogtes gekend zijn. Hiervoor werd gebruik gemaakt van trekdraadsensoren van het type FDK100 met meetbereik van 3500mm (Althen Sensors & Controls, Rijswijk, Nederland) met uitzondering van stal B1. Tot 12 juli 2023 werd in stal B1 gebruik gemaakt van een laser om de hoogte van het scherm te bepalen. Er werd een laser van het type WTT12L-A2563 (SICK, Waldkirch, Duitsland) gemonteerd boven aan de opening en een reflector aan de bovenkant van het scherm.



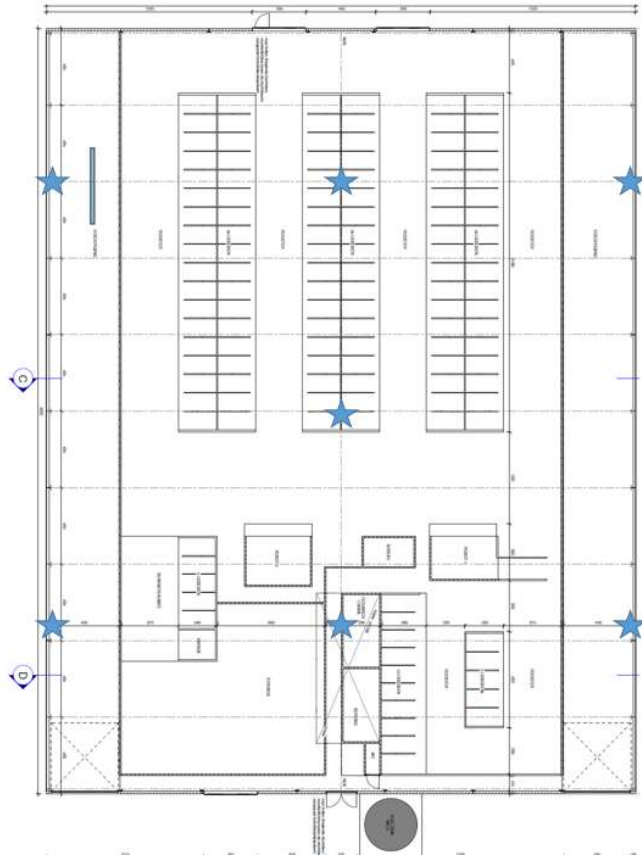
Figuur 19: Schematische voorstelling van de opstelling voor het meten van het ventilatiedebiet langs één zijopening van de stal. De bollen stellen anemometers voor. De positie in de opening wordt aangegeven door het percentage van de totale hoogte van de opening.

c. Installatie in de nok opening

In elke nok werden drie anemometers geïnstalleerd (Figuur 20 & Figuur 21). Twee van de drie bevonden zich in hetzelfde vlak als de anemometers in de zijopeningen van de stal, de derde anemometer bevond zich er tussenin, in het midden van de noklengte.



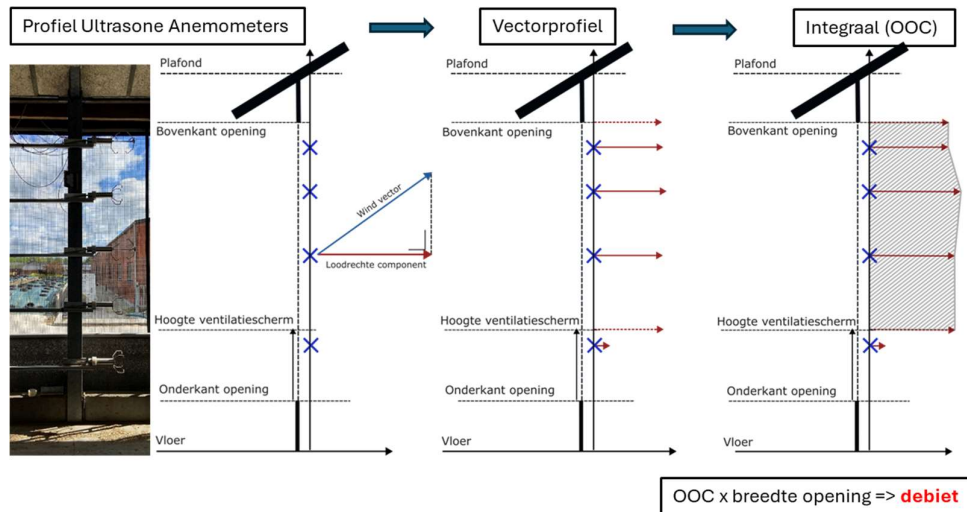
Figuur 20: Vooraanzicht van een schematische weergave van de positie van de anemometers in B1, B2 en B3.



Figuur 21: Bovenaanzicht van een schematische weergave van de positie van de anemometers in stal B1, B2 en B3.

d. Berekeningswijze debieten

De berekeningen werden uitgevoerd zoals omschreven als de AUC methode in Coorevits et al. (2025), in dit rapport werd de gelijknamige Nederlandstalige term Oppervlakte Onder de Curve (OOC) gebruikt. Het algemene principe is dat de windsnelheden en windrichtingen van de anemometers gebruikt worden om de hoeveelheid lucht die loodrecht de stal binnenkomt of verlaat te berekenen (Figuur 22). De benodigde vectorwaarden werden bekomen door de windsnelheid op te breken in vector componenten, dit door gebruik te maken van de gemeten windsnelheid en de cosinus van de windrichting. Iedere anemometer genereert zo'n vector, dus vier vectoren per verticaal anemometer profiel. Vervolgens werd via numerieke integratie een oppervlakte onder de curve (OOC) bepaald. Deze OOC werd toegewezen aan een sectie van de opening en vermenigvuldigd met de lengte van deze sectie. *Bijvoorbeeld een opening met een lengte van 40 meter heeft twee verticale anemometer profielen. Elk profiel wordt toegewezen aan een gelijk deel van deze opening, dus 20 meter (van de lengte) per profiel. De som van het debiet door deze deelopervlaktes is dan het totale ventilatiedebiet door deze opening.*



Figuur 22: Schematische weergave van berekeningswijze ventilatiedebieten volgens de ILVO-meetmethode.

3.6.2 VERA-meetmethode

Het ventilatiedebiet wordt bepaald via de tracer gas ratio methode, op basis van de CO₂-massabalans. De gemodelleerde uitstoot van CO₂ (afkomstig van koeien en mest) wordt vergeleken met de CO₂-concentraties gemeten in een representatief staal van de stallucht, gecorrigeerd voor de concentratie van CO₂ in de ingaande lucht. Hieruit kan het ventilatiedebiet worden bepaald. **Daar de CO₂-productie van de dieren o.a. afhankelijk is van de activiteit van de dieren, is deze methode enkel geschikt om een gemiddeld ventilatiedebiet over 24 uur te bepalen.**

a. Locatie meetleiding

De CO₂-concentraties werden bepaald met dezelfde meetopstelling zoals werd gebruikt om NH₃-concentraties te meten (zie 3.5 Ammoniakconcentraties).

b. CO₂-productiemodellen

De CO₂-productie in de stal wordt berekend op basis van de CIGR-rekenregels (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). Deze rekenregels bepalen met behulp van verschillende parameters de hitteproductie van een koe per dag, met een conversiefactor (waarde 0,20; afkomstig van 0,18 + 10% bijdrage van de mestput) wordt de hitteproductie omgezet naar CO₂-productie. De benodigde parameters zijn afhankelijk van de diercategorie en (1) het gemiddeld gewicht van de dieren (m ; kg), (2) de gemiddelde drachtijd (p ; dagen in dracht), (3) de melkproductie (Y_1 ; kg melk/dag per dier), (4) gewichtstoename van jongvee (Y_2 ; kg/dag) en (5) energiewaarde voer (M ; MJ/kg droge stof). De volgende formules werden gebruikt:

Melkvee:

$$PCO_2 = 0,2 (5,6m^{0,75} + 22Y_1 + 1,6 \cdot 10^{-5}p^3) \frac{1}{1000}$$

Droge koeien:

$$PCO_2 = 0,2 (5,6m^{0,75} + 1,6 \cdot 10^{-5}p^3) \frac{1}{1000}$$

Jongvee, drachtig:

$$PCO_2 = 0,2 \left(7,64m^{0,69} + Y_2 \left(\frac{23}{M} - 1 \right) \cdot \left(\frac{57,27 + 0,302m}{1 - 0,171Y_2} \right) + 1,6 \cdot 10^{-5}p^3 \right) \frac{1}{1000}$$

Jongvee, niet drachtig:

$$PCO_2 = 0,2 \left(7,64m^{0,69} + Y_2 \left(\frac{23}{M} - 1 \right) \cdot \left(\frac{57,27 + 0,302m}{1 - 0,171Y_2} \right) \right) \frac{1}{1000}$$

Om de totale CO₂-productie in de stal te bepalen per dag wordt de CO₂-productie van alle diercategorieën vermenigvuldigd met het aantal dieren per categorie en vervolgens opgeteld. Aangezien bovenstaande formules zijn bepaald op een standaardtemperatuur van 20°C is er een correctie nodig om de CO₂-productie te berekenen bij staltemperaturen (T_{stal}). Om de CO₂-productie te corrigeren dient onderstaande formule voor rundvee gebruikt te worden:

$$PCO_{2,gecorrigeerd} = PCO_2 \cdot (1000 + 4(20 - T_{stal}))/1000$$

In het geval van natuurlijk geventileerde stallen komt de staltemperatuur bij benadering overeen met de temperatuur buiten de stal. Deze temperatuur werd bekomen bij het KMI of KNMI, zoals beschreven onder 3.2 Meteorologische data. Het aantal dieren per diercategorie werd opgevraagd via de stalcomputer. Op de stalcomputers wordt gewerkt met verwerkend programma Unifarm die data haalt uit Crystal, Horizon, Delpro of Smartdairy en gegevens die de landbouwer ingeeft rond het management (inseminaties, kalvingen, jongvee, kalveren, droge koeien, enz.). Crystal, Horizon, Delpro en Smartdairy zijn merkgebonden programma's van melkrobot of melkstand.

Voor draagtijd, gewichtstoename en het gewicht van de dieren werden met standaard gemiddelde waarden gewerkt (Tabel 4). Deze waarden werden overgenomen van het rekenblad dat gekoppeld is aan het VERA-protocol⁹.

Tabel 4: Parameterwaarden gebruikt voor het invullen van de CO₂-productiemodellen. Deze waarden werden overgenomen van het rekenblad dat gekoppeld is aan het VERA-protocol (<https://www.vera-verification.eu/nl/test-protocollen/>).

Parameter	Waarde
Aantal dieren per diercategorie	Dagelijkse waarde melkrobot
Gewicht melkgevende koeien (kg)	650
Gewicht droge koeien (kg)	650
Gewicht drachtig jongvee (kg)	400
Gewicht jongvee (kg)	250
Draagtijd (droge koeien)	160
Draagtijd (drachtig jongvee)	220
Energiewaarde voer (MJ/kg droge stof)	10
Gewichtstoename jongvee (kg/dag)	0,6

c. Berekeningswijze

De CO₂-productiemodellen berekenen de gemiddelde CO₂-productie op één dag. Daarom worden ook de door de analyzer gemeten CO₂-concentraties uitgemiddeld per dag en resulteert dit in een gemiddeld ventilatiedebiet per dag.

Concreet worden de daggemiddelde concentraties gemeten in de stal ($C_{m,stal,CO_2}$), de laagste daggemiddelde concentraties gemeten in de meetleidingen die buiten de stal hangen ($C_{m,buiten,CO_2}$) en de berekende CO₂-productiewaarden gebruikt in volgende vergelijking. De vermenigvuldiging met 10⁶ dient om ppm om te rekenen naar m³ CO₂/m³ lucht.

$$Ventilatiedebiet [m^3/uur] = \frac{P_{CO_2} [\frac{m^3}{uur}]}{C_{m,stal,CO_2} - C_{m,buiten,CO_2} [ppm]} \cdot 10^6$$

⁹ <https://www.vera-verification.eu/nl/test-protocollen/>

3.7 Kwaliteitscontrole

3.7.1 Controle van de ventilatiebalans bij de ILVO-meetmethode

Bij de ILVO-meetmethode worden de luchtdebieten per stalopening per 10 minuten bepaald. Dit laat toe om, met behulp van de wet van behoud van massa en bij benadering ook van volume, een volumebalans op te stellen voor iedere stal. Hierbij wordt het gemeten ingaande debiet vergeleken met het gemeten uitgaande debiet. Op deze manier is het mogelijk om de kwaliteit van de meetopstelling per stallocatie na te gaan. **Een te grote afwijking tussen het ingaand en uitgaand luchtdebiet bij een meetlocatie, kan erop wijzen dat de ILVO-meetmethode op deze meetlocatie niet toegepast kan worden met een aanvaardbare onzekerheid.**

De kwaliteitscontrole werd uitgevoerd bij elke meetlocatie voor de start van de meetcampagne met behulp van een orthogonale regressie. Hierbij werd gebruik gemaakt van de ingaande en uitgaande luchtdebieten uitgemiddeld per uur over een periode van 4 weken. Het snijpunt tussen de x- en y-as werd verondersteld nul te zijn. Indien de luchtbalans perfect gesloten kan worden zou de helling gelijk zijn aan 1. Op basis van expert judgement werd een maximale toegestane afwijking van de helling ten opzichte van 1 vastgelegd op 15%. Bij alle meetlocaties betrokken in dit meetrapport werd voldaan aan het gestelde kwaliteitscriterium. In totaal werd de meetopstelling voor de bepaling van het ventilatiedebiet met de ILVO-meetmethode geïnstalleerd op 5 Vlaamse stallen. Op één stallocatie kon niet voldaan worden aan dit criterium. Omwille van deze reden werd een nieuwe stallocatie gezocht.

Gedurende de meetperiode werden de ventilatiebalansen blijvend opgevolgd als extra kwaliteitscontrole.

3.7.2 Randvoorwaarden gesteld bij de ILVO-meetmethode

Om een correcte emissieberekening te kunnen garanderen met de ILVO-meetmethode, werden een aantal randvoorwaarden opgelegd.

a. Gesloten poorten

Poortopeningen kunnen omwille van praktische redenen niet voorzien worden van anemometers. Bijgevolg kan het luchtdebiet door een openstaande poort niet gemeten worden. Aan de veehouders werd gevraagd de poorten enkel te openen indien strikt noodzakelijk. Op elke meetlocatie werden alle functionele poorten voorzien van een laser, namelijk de RS PRO Diffuse Reflection Photoelectric Block Sensor met 1 m detectie range (RS group, Londen, VK) die aangeeft of een poort open staat of niet. **Er werden geen emissies berekend met de ILVO-meetmethode op die momenten waarop één of meerdere poorten open stonden.** Dit is een streng criterium om te vermijden dat incorrecte ventilatiedebieten en bijgevolg incorrecte emissies zouden berekend worden. Mogelijks zou dit criterium opgeheven kunnen worden indien het debiet door de poorten verwaarloosbaar zou blijken ten opzichte van het totale staldebiet. Toekomstige analyses kunnen hier mogelijk uitsluitsel over geven.

b. Unidirectionaliteit

Een correcte emissieberekening met de ILVO-meetmethode is enkel mogelijk als een stalopening volledig functioneert als inlaat of als uitlaat. Indien dit niet het geval is, dan zal de verzamelleiding aan die stalopening een mengeling van ingaande en uitgaande lucht bemonsteren. Dit zal vervolgens leiden tot een foutieve berekening van de emissie. Omwille van deze reden werd de voorwaarde van unidirectionaliteit ingevoerd. **Aan de voorwaarde van unidirectionaliteit is voldaan indien in elke stalopening de windsnelheidsvectoren, die meegenomen worden in de debietsberekening, unidirectioneel zijn. Dit betekent dat deze vectoren dezelfde richting, namelijk in of uit, moeten aangeven.**

Bij lage windsnelheden kunnen de waarden zich onder de bepalingslimiet van de anemometer bevinden. De bepalingslimiet werd vastgelegd op 0,24 m/s voor de GILL sensoren en 0,10 m/s voor de THIES sensoren. Bij windsnelheden onder deze bepalingslimiet kan de juistheid van de gemeten snelheid niet worden gegarandeerd en zou men onterecht kunnen concluderen dat niet aan de voorwaarde van unidirectionaliteit is voldaan. Omwille van deze reden worden meetwaarden onder de bepalingslimiet niet meegenomen bij de controle van deze randvoorwaarde.

Wanneer een inbreuk op de voorwaarde van unidirectionaliteit vastgesteld wordt, dan wordt dit datapunt uit de dataset verwijderd en worden geen emissies berekend voor die tijdsperiode.

Meer gedetailleerde informatie hierover is terug te vinden in Coorevits et al. (2025).

c. Ontbrekende waarden

Wanneer niet alle data voor handen is om een debiet te kunnen berekenen, bijvoorbeeld wanneer op een vectorwaarde van een anemometer, een schermpositie of een poortpositie ontbreekt, dan wordt dat datapunt weggelaten en worden geen emissies berekend voor dat moment.

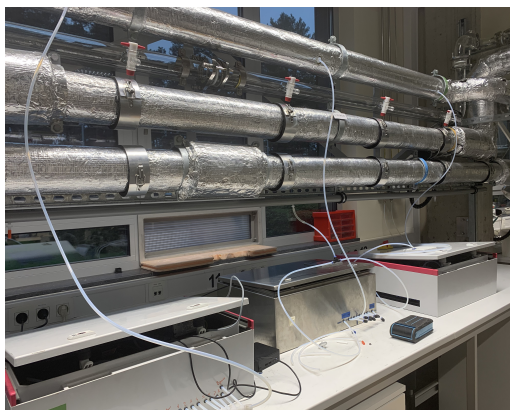
3.7.3 Randvoorwaarden gesteld bij de VERA-meetmethode

In het VERA-meetprotocol worden twee randvoorwaarden gesteld:

- Per gemeten uur, dienen de gemeten stalconcentraties hoger te zijn dan de achtergrondwaarde. Indien niet voldaan is aan deze voorwaarde dient dit uur verwijderd te worden uit de dataset.
- Minstens 80% van de gemeten uren op een dag dienen beschikbaar te zijn. Indien niet aan deze voorwaarde voldaan is, wordt deze dag verwijderd uit de dataset.

3.7.4 Kalibratie gasanalyzers op basis van ringtesten bij VITO

De gasanalyzers werden gekalibreerd op basis van meetgegevens verzameld tijdens twee testen in het geaccrediteerd referentie-instituut VITO te Mol. Verschillende combinaties van NH₃- en CO₂-concentraties werden aan de toestellen via een ringleiding aangeboden (Figuur 23) gedurende 15 minuten. Voor lage NH₃-concentraties (< 0,5 ppm) werd een langere stabilisatietijd gehanteerd, nl. 30 minuten. Enkel de laatste twee minuten aan data werden gebruikt om de kalibratievergelijking op te stellen en dit met behulp van lineaire regressie.



Figuur 23: Opstelling van analyzers aan de ringleiding in VITO.

3.7.5 Veldvalidatie gasanalyzers met behulp van gasflessen

Iedere zes weken werden de gasanalyzers onderworpen aan een veldvalidatie met behulp van gasflessen. Tijdens deze testen werden verschillende gasconcentraties NH₃ en CO₂ aan het toestel aangeboden. Iedere stap werd 10 minuten aangehouden, voldoende om het signaal van het toestel te laten stabiliseren. Het gemiddelde signaal van de laatste twee minuten per stap werd gebruikt om een validatievergelijking op te stellen met behulp van lineaire regressie. De absolute en relatieve residuen van deze lineaire regressie werden gebruikt om de kwaliteit van de validatievergelijking te evalueren. De validatievergelijking had de volgende vorm:

$$C_{aangelegde\ concentratie} = a * C_{gemeten\ concentratie} + b + fout$$

De (absolute) residuen werden vervolgens bepaald door het verschil te nemen van de concentratie bekomen met de validatievergelijking (C_{fit}) en de aangelegde concentratie. De relatieve residueel wordt berekend door het voorgaande verschil te delen door de aangelegde concentratie. De absolute residueel moest aan volgende criteria voldoen wanneer deze in functie van de aangelegde concentratie werd geplot:

- Liggen de residuen willekeurig rond 0 verdeeld?
- Vertonen de residuen een patroon (bv. een kwadratisch verloop)?
- Is de grootte van de maximale absolute residueel acceptabel? Dit is het meest relevant voor lage concentraties bv. onder 1 ppm.

Voor wat de relatieve residuen betreft:

- Er werden limieten vastgesteld voor de maximale afwijking van de relatieve residuen. Indien deze hoger is dan 5%, moet het model mogelijks worden aangepast. Indien deze hoger is dan 10% (behalve bij lage concentraties < 1 ppm), ook na het fitten van een nieuw model, wordt er samen met de technische medewerkers gezocht naar een oplossing. Dit kan bijvoorbeeld een onderhoud of het vervangen zijn van de analyzer.

De data die tijdens deze herhaalde controles werden verzameld, werd gebruikt om na te gaan of de toestellen onderhevig waren aan drift. Onder drift verstaan we het systematisch afwijken van de metingen van een sensor doorheen de tijd. Het vaststellen van de aan- of afwezigheid van drift wordt op basis van lineaire regressie gedaan. Hierbij wordt dus gekeken of de coëfficiënten a en b uit de verschillende kalibratievergelijkingen systematisch veranderen als functie van de tijd. Hiervoor wordt een model van de volgende vorm gebruikt:

$$C_{aangelegde\ concentratie} = (a + c \cdot tijd) \cdot C_{gemeten\ concentratie} + (b + d \cdot tijd) + fout$$

Voor een toestel dat geen drift vertoont en dus stabiel meet doorheen de tijd, moeten de coëfficiënten c en d beide nul zijn. Met behulp van hypothestetests kan worden nagegaan of deze nulhypoteses (c is nul en d is nul) aannemelijk zijn op basis van de gemeten concentraties bij de verschillende veldcontroles. Aan de hand van de p-waarde van deze coëfficiënten in de regressieanalyse kan dan bepaald worden of een toestel, statistisch gezien, drift vertoont. Bij een p-waarde die kleiner is dan het gekozen significantieniveau van 0,05 wordt de nulhypothese (c is nul of d is nul) verworpen. Het verwerpen van de nulhypothese geeft een aanduiding dat er drift aanwezig kan zijn op de metingen van een analyzer. Vervolgens werd de effectgrootte van de drift, i.e. hoe groot is het effect van de drift in vergelijking met de gemeten concentraties, bepaald.

Tijdens de uitvoering van de veldvalidaties worden de lopende metingen even stopgezet. Om te vermijden dat data van de veldvalidaties opgenomen zouden worden in de dataset en om invloeden van het onderbreken van de metingen op de gemeten gasconcentraties uit te sluiten,

werd beslist om de data van de dagen waarop veldvalidaties werden uitgevoerd te verwijderen uit de dataset (van 00:00 tot 23:59).

3.8 Berekening emissie

Zowel bij de VERA- als de ILVO-meetmethode wordt de emissie van een stal berekend door de concentratie van het gas in de uitgaande lucht, gecorrigeerd voor de concentratie van het gas in de ingaande lucht, te vermenigvuldigen met het gemiddelde ventilatiedebiet van de uitgaande lucht, volgens volgende algemene formule:

$$E_{NH_3} = V * (C_{NH_3,uitgaande\ lucht} - C_{NH_3,ingaa\nde\ lucht})$$

Met

E_{NH_3} = emissie ammoniak (g/uur) of (g/dag)

V = uitgaand luchtdebiet (m³/uur) of (m³/dag)

$C_{NH_3, uitgaande\ lucht}$ = concentratie ammoniak in uitgaande lucht (g/m³)

$C_{NH_3, ingaa\nde\ lucht}$ = concentratie ammoniak in ingaande lucht (g/m³)

3.8.1 ILVO-meetmethode

Het continu meten van zowel de NH₃-concentratie als de debieten in de stal maakt het mogelijk om **emissiewaarden** te berekenen **per uur**. Voor de gasconcentraties wordt elke meetleiding één keer per uur bemeten. Enkel de laatste minuut per meetleiding werd gebuikt voor de uitvoering van verdere berekeningen om na-ijleffecten van de vorige meting uit te sluiten.

De meetleiding gebruikt voor de bepaling van de ingaande lucht varieerde in functie van de richting van de luchtstroming door de stal. Een concreet voorbeeld: wanneer de concentratie aan de NO-uitgaande opening wordt gemeten, wordt de concentratie gemeten in de buitenleiding aan de ZW-kant gebruikt als de concentratie van de ingaande lucht. Indien de concentratie in de ingaande lucht hoger was dan de concentratie in de uitgaande lucht, werd de emissie op dat punt uit de dataset verwijderd. Ook de concentraties in de nok werden gecorrigeerd naargelang de richting van de luchtstroming doorheen de stal. In het meest voorkomende geval, wanneer één van de twee openingen als inlaat dient, wordt de buiten concentratie gemeten langs die kant van de stal genomen als ingaande concentratie. In de uitzonderlijke gevallen wanneer beide zij-openingen als inlaat functioneren, wordt het gemiddelde genomen van de ingaande concentraties.

De ventilatiedebieten werden uitgemiddeld per uur. Om een correcte emissiemeting te kunnen garanderen, moet de wind gedurende de volledige meetcyclus van één uur uit dezelfde richting komen. Met dezelfde richting wordt bedoeld dat het teken van de vector gedurende het uur niet verandert. Indien niet aan deze voorwaarde voldaan is, betekent dit dat noch de gemiddelde ventilatiedebieten, noch de gemeten gasconcentraties in dat uur representatief zijn. Deze uren werden dan ook niet meegenomen in de verdere berekeningen (zie 3.7.2 b Unidirectionaliteit).

Een emissie per uur werd berekend door het concentratieverschil tussen de uitgaande en ingaande lucht te vermenigvuldigen met het debiet van de uitgaande lucht. Dit gaat op voor zowel de zijopeningen als voor de nokopening.

De emissie per uur wordt gedeeld door het aantal aanwezige dieren in de stal op het ogenblik van de metingen. In het ideale geval is er voor elk uur van het jaar een emissiewaarde en worden alle emissiewaarden per uur opgeteld om de totale ammoniakemissie over het jaar te kennen. Indien het aantal ontbrekende uren beperkt zou zijn én de emissie een stabiel patroon vertoont, zouden de ontbrekende emissiewaarden ingeschat kunnen worden door interpolatie. Door het grote aantal ontbrekende emissiewaarden en het grillig emissiepatroon zal deze aanpak vermoedelijk leiden tot een foutieve inschatting van de werkelijke emissie. Omwille van deze reden werd ervoor

gekozen om alle beschikbare emissiewaarden op te tellen om vervolgens te delen door het aantal beschikbare uren en te vermenigvuldigen met het aantal uren per jaar. Verder in het rapport noemen we dit de “herschaling van de cumulatieve emissiewaarden”.

Om de emissiewaarde per jaar te berekenen voor een traditionele melkveestal werd vervolgens het gemiddelde berekend van de herschaalde cumulatieve waarde per stal. De standaarddeviatie op dit gemiddelde is een maat voor de variatie tussen de 4 stallen.

3.8.2 VERA-meetmethode

Aangezien het ventilatiedebiet volgens deze methode enkel over 24 uur bepaald kan worden, moet ook eerst de gemiddelde NH_3 - en CO_2 -concentratie in de ingaande lucht en centraal in de stal (de VERA-verzamelleiding) bepaald worden op basis van de uurwaarden. Deze uurwaarden worden op dezelfde manier bepaald als voor de ILVO-meetmethode. Het gemiddelde van de laatste minuut per kanaal wordt gebruikt en representatief verondersteld voor de concentraties in de stal voor dat uur. Vervolgens wordt het daggemiddelde van de VERA-verzamelleiding bepaald. De concentratie van de ingaande lucht wordt bepaald door het daggemiddelde te berekenen per achtergrondleiding (NE ingaand of ZW ingaand) en dan de laagste van de twee te nemen. De daggemiddelde concentratie aan de VERA-verzamelleiding wordt vervolgens gecorrigeerd door de achtergrondconcentratie ervan af te trekken om vervolgens te vermenigvuldigen met het daggemiddelde ventilatiedebiet (bepaald zoals omschreven in 3.6.2).

De emissie per dag wordt gedeeld door het aantal aanwezige dieren in de stal op het ogenblik van de metingen. In het ideale geval heb je voor elke dag van het jaar een emissiewaarde en tel je alle emissiewaarden per dag op om de totale ammoniakemissie over het jaar te kennen. Indien het aantal ontbrekende dagen beperkt zou zijn én de emissie een stabiel patroon vertoont, zouden de ontbrekende emissiewaarden ingeschat kunnen worden door interpolatie. Door het grote aantal ontbrekende emissiewaarden en het grillig emissiepatroon zal deze aanpak vermoedelijk leiden tot een foutieve inschatting van de werkelijke emissie. Omwille van deze reden werd ervoor gekozen om alle beschikbare emissiewaarden op te tellen om vervolgens te delen door het aantal beschikbare dagen en te vermenigvuldigen met het aantal dagen per jaar.

Om de emissiewaarde per jaar te berekenen voor een traditionele melkveestal wordt vervolgens het gemiddelde berekend van de herschaalde cumulatieve waarde per stal.

3.9 Dataverwerking en -analyse

Alle berekeningen werden uitgevoerd in Python 3.12.

3.9.1 Controle op volledigheid, kwaliteit en consistentie

Om het verlies aan data door defecten in de meetopstelling te beperken werden de meting dagelijks opgevolgd via een online platform (Grafana, Grafana Labs, New York, VS). Defecten, internet storingen en elektriciteitsonderbrekingen werden zo snel mogelijk opgelost.

Voor wat missende waarden in de dataset betreft, werd een strikt criterium gehanteerd. Wanneer er 1 waarde ontbrak in de data van de anemometers, de schermstanden of de poortstanden voor de berekening van de OOC (data per 10 minuten), werd dit punt uit de dataset verwijderd. Logischerwijs was het ook niet mogelijk om een emissie te berekenen voor een uur wanneer er een gasconcentratie ontbrak.

Aangezien er veel data geaggregeerd worden en er nogal wat filterstappen van toepassing zijn, werd het aantal datapunten waarop een emissiewaarde gebaseerd is, opgevolgd doorheen de berekeningen.

3.9.2 Standaardisatie van de emissies

Volgens Ogink et al. 2014 en de meest recente meetrichtlijnen¹⁰ worden de emissiewaarden het best gestandaardiseerd naar verschillende parameters die tussen verschillende landbouwbedrijven kunnen variëren. Drie parameters worden hierbij in beschouwing genomen: buitentemperatuur (T_{buiten} ; °C), melkureumconcentratie (MUC; mg/100ml) en het bevuilde oppervlak per dierplaats (OPPV; m²). De buitentemperatuur wordt gecorrigeerd naar het 10-jarlijks gemiddelde, wat voor België ongeveer 10,2°C is¹¹, net zoals in Nederland. De tweede factor is het melk ureum gehalte wat voor Vlaanderen gemiddeld 22 mg/100ml is¹². De laatste parameter is het bevuilde loopoppervlak. **Welke het gemiddelde bevuilde oppervlak is in Vlaanderen is niet gekend. Omwille van deze reden werd de waarde van Nederland toegepast, nl. 4,5 m²/dierplaats.**

Gezien er niet voldaan is aan de landbouwkundige randvoorwaarde rond bezetting¹³ en het bevuilde oppervlak varieert over de meetperiode werd gekozen om het bevuilde oppervlak **per dier** te gebruiken in plaats van **per dierplaats**.

Onderstaande formule werd gebruikt om de standaardisatie uit te voeren:

$$E_{st} = \left(e^{\text{LnEg} - \frac{1,5}{100} * (T_{buiten} - 10,2) - \frac{2,5}{100} * (MUC - 2)} \right) * \left(1 + \frac{10}{100} * (4,5 - OPPV) \right)$$

¹⁰ [Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen \(versie 2\)](#)

¹¹ <https://www.meteo.be/nl/klimaat/klimaat-van-belgie/klimaatatlas/klimaatkaarten/luchttemperatuur/gemiddelde/jaarlijks>

¹² <https://www.mcc-vlaanderen.be/nl/content/ureumgehalte>

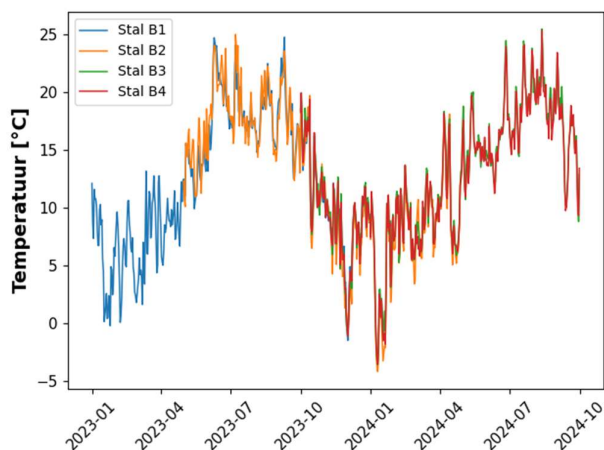
¹³ Op meetdagen mag het aantal in de stal aanwezige dieren (melkkoeien plus jongvee) niet meer dan 10% afwijken (zowel naar beneden als boven) van het aantal in de stal aanwezige ligboxen.

4 Resultaten & discussie

4.1 Meteorologische data

4.1.1 Gemiddelde omgevingstemperatuur

De gemiddelde temperatuur gemeten bij elk van de vier weerstations staat weergegeven in Figuur 24. Om de trend duidelijk te maken, wordt hier de gemiddelde dagtemperatuur weergegeven. De gemiddelde dagwaarden werden bepaald op basis van waarden per uur. Hoewel de stallen doorheen Vlaanderen verspreid liggen, blijkt het verschil in temperatuur tussen de verschillende meetlocaties beperkt te zijn.



Figuur 24: Verloop van de temperatuur tijdens de respectievelijke meetperiodes zoals gemeten in de weerstations in de nabijheid van de vier meetlocaties.

Tabellen 5 t.e.m. 8 tonen voor elk van de vier meetlocaties de minimale, maximale en gemiddelde omgevingstemperatuur voor elke maand tijdens de meetperiode.

Tabel 5: Minimum, gemiddelde en maximum omgevingstemperatuur (°C) per maand bij meetlocatie B1 tijdens de meetperiode (op basis van uurwaarden).

B1	1/23	2/23	3/23	4/23	5/23	6/23	7/23	8/23	9/23	10/23	11/23	12/23
Min	-2,4	-3,8	-1,9	-0,7	4,5	10,1	10,9	10,4	8,5	1,9	-1,1	-4,7
Gem	5,8	5,9	7,6	8,8	13,3	19,8	18,4	17,8	18,2	13,5	8,2	7,4
Max	14,6	12,4	16,7	17,5	23,2	31,6	31,1	27,2	32,1	26,0	15,3	13,0

Tabel 6: Minimum, gemiddelde en maximum omgevingstemperatuur (°C) per maand bij meetlocatie B2 tijdens de meetperiode (op basis van uurwaarden).

B2	5/23	6/23	7/23	8/23	9/23	10/23	11/23	12/23	1/24	2/24	3/24	4/24
Min	2,4	9,8	8,8	10,0	6,8	1,0	-0,9	-3,9	-9,5	-1,9	0,3	-0,5
Gem	14,2	20,2	18,6	18,0	17,9	13,4	7,7	6,8	3,2	8,2	9,2	11,0
Max	25,4	30,9	33,2	28,8	32,2	25,7	15,0	12,5	13,4	16,2	18,8	24,6

Tabel 7: Minimum, gemiddelde en maximum omgevingstemperatuur (°C) per maand bij meetlocatie B3 tijdens de meetperiode (op basis van uurwaarden).

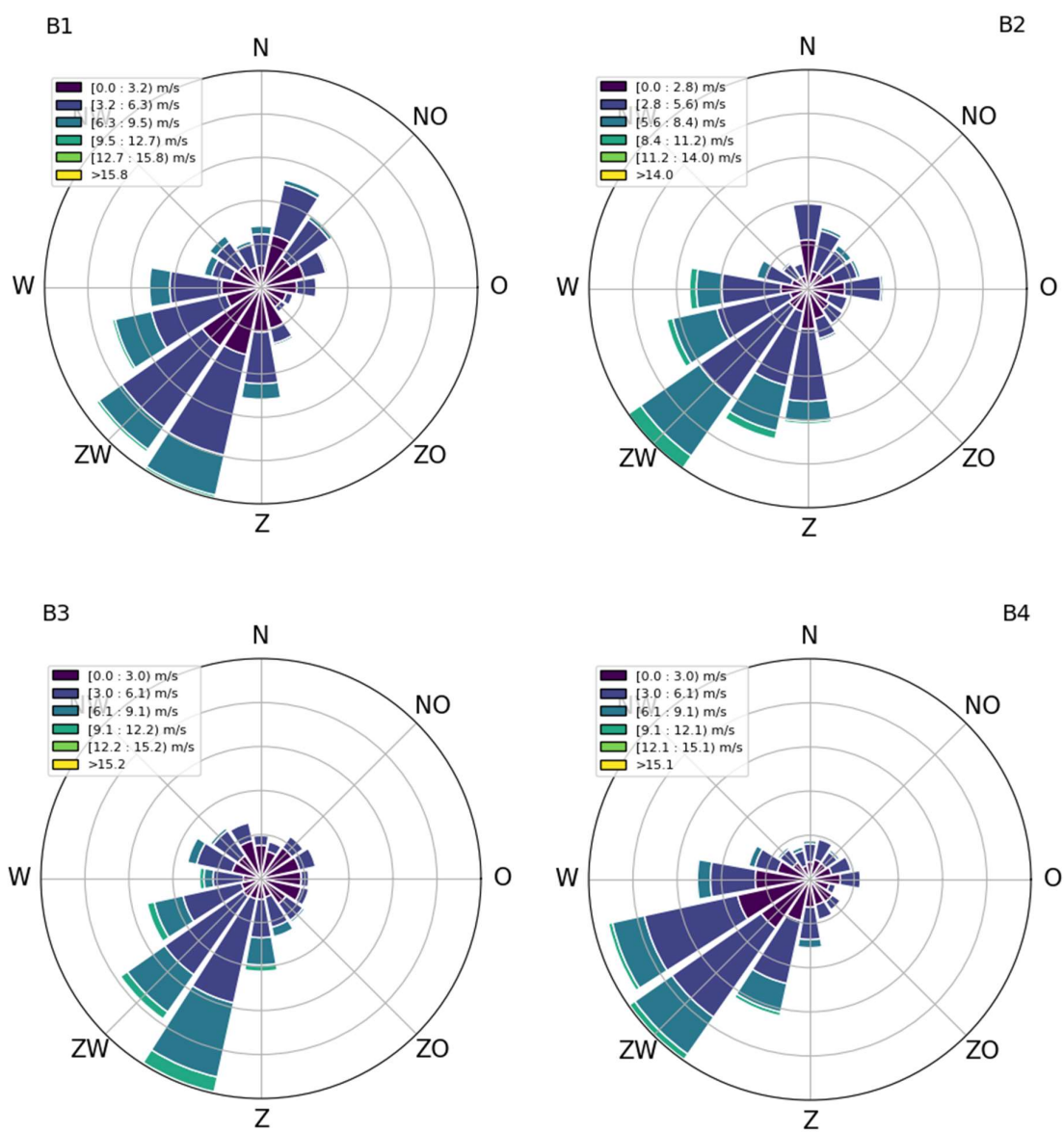
B3	10/23	11/23	12/23	1/24	2/24	3/24	4/24	5/24	6/24	7/24	8/24	9/24
Min	3,1	-1,1	-3,5	-6,3	1,3	0,9	0,0	5,6	6,6	9,8	9,6	2,8
Gem	14,1	8,4	7,6	4,3	8,9	9,3	11,3	15,4	16,3	18,8	19,9	15,8
Max	25,4	15,8	13,6	13,4	16,9	18,0	23,7	26,3	29,9	30,2	33,1	31,0

Tabel 8: Minimum, gemiddelde en maximum omgevingstemperatuur (°C) per maand bij meetlocatie B4 tijdens de meetperiode (op basis van uurwaarden).

B4	10/23	11/23	12/23	1/24	2/24	3/24	4/24	5/24	6/24	7/24	8/24	9/24
Min	2,4	-0,7	-4,6	-5,8	2,6	1,0	-0,7	6,5	7,3	10,5	9,7	3,0
Gem	13,8	8,2	7,5	4,1	8,8	9,1	11,0	15,1	16,1	18,6	19,6	15,6
Max	24,6	15,2	13,1	13,0	16,1	18,3	23,2	26,1	29,6	30,4	32,9	31,2

4.1.2 Windsnelheid en -richting

De windsnelheid en -richting gemeten in de beschouwde weerstations worden weergegeven in Figuur 25 aan de hand van windrozen. Voor alle weerstations kan gesteld worden dat de wind hoofdzakelijk uit het zuidwesten of zuidzuidwesten kwam. Op basis van kleur worden ook de bijhorende windsnelheden weergegeven. De mediane windsnelheid per stal bedroeg 3,56 m/s, 3,00 m/s, 3,89 m/s en 3,38 m/s voor meetlocaties B1, B2, B3 en B4 respectievelijk. De standaardafwijking van deze snelheden lag tussen 2,10 m/s (voor stal B1) en 2,43 m/s (voor stal B3). Over alle stallen heen valt 95% van de data tussen 1,00 m/s en 9,00 m/s. Windsnelheden boven de 10 m/s waren eerder uitzonderlijk (<1% van de data).



Figuur 25: Windrozen van de wind gedurende de meetperiode bij de vier stallen.

4.2 Landbouwkundige randvoorwaarden

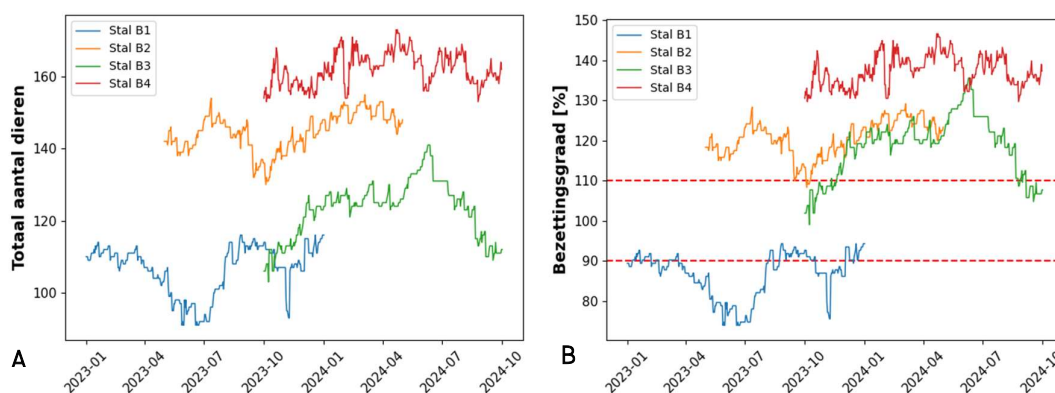
4.2.1 Aantal dieren & huisvesting

Het totaal aantal runderen in de stal tijdens de respectievelijke meetperiodes op de vier meetlocaties wordt weergegeven in Figuur 26.

Aan de landbouwkundige randvoorwaarde dat het aantal melkgevende en droogstaande koeien minimaal 30 dient te zijn, werd op elk moment tijdens de meetcampagne voldaan.

Op meetlocaties B1 en B4 waren er steeds enkele droogstaande koeien en jongvee aanwezig tijdens de meetperiode. Bij meetlocatie B1 bedroeg dit aandeel gemiddeld 7,5% en maximaal 16,7% voor droogstaande koeien; voor jongvee was dit gemiddeld 1,9% en maximaal 14%. Bij meetlocatie B4 was het aandeel jongvee gemiddeld 1,3% en maximaal 4,6%. In deze stal waren gedurende de meetperiode nooit droogstaande koeien aanwezig. Het is duidelijk dat op alle meetlocaties aan de landbouwkundige voorwaarden wordt voldaan (<20% droogstaande koeien en <20% jongvee in de stal gedurende de meetperiode).

Een andere landbouwkundige randvoorwaarde is dat op meetdagen het aantal in de stal aanwezige dieren (melkkoeien plus jongvee) niet meer dan 10% mag afwijken (zowel naar beneden als boven) van het aantal in de stal aanwezige ligboxen. Om na te gaan of aan deze voorwaarde werd voldaan werden het aantal aanwezige dieren gedeeld door het totaal aantal beschikbare ligplaatsen (excl. de ligbedden in de separatieruimtes), verder in dit rapport benoemen we dit cijfer als **de bezettingsgraad**. Aan deze landbouwkundige randvoorwaarde werd slechts een deel van de tijd voldaan. Er is een groot verschil te merken tussen de meetlocaties. Stal B4 zit gedurende de volledige meetperiode boven de maximale toegestane bezettingsgraad van 110%. Stal B2 heeft, met uitzondering van een korte periode, ook een hoger bezettingsgraad dan de maximale toegestane van 110%. Stal B3 voldoet aan het begin en het einde van de meetperiode aan de landbouwkundige randvoorwaarde. In het midden van de meetperiode is de bezettingsgraad hoger dan 110%. Stallocatie B1 voldoet ongeveer de helft van de meetperiode net aan de ondergrens van de bezettingsgraad (90%). De overige tijd ligt de bezettingsgraad onder de ondergrens.



Figuur 26: Verloop van het totaal aantal koeien (A) en de bezettingsgraad (B) op elke meetlocatie tijdens de metingen.

Ondanks het feit dat het bevuilde vloeroppervlak niet opgenomen is in de landbouwkundige randvoorwaarden, lijkt dit een cruciale variabele die invloed heeft op de ammoniakemissie. Het bevuilde oppervlak is mogelijk zelfs relevanter dan de bezettingsgraad dat bepaald wordt op basis van het aantal beschikbare ligbedden. Het bevuilde oppervlak werd op twee manieren bepaald (Tabel 9): (1) door de oppervlakte van de roosters (die continu toegankelijk zijn voor melkvee en jongvee/droge koeien) te delen door het aantal ligbedden (uitgezonderd de ligbedden in de separatieruimtes) en (2) door de oppervlakte van de roosters (die continu toegankelijk zijn

voor melkvee en jongvee/droge koeien) te delen door het aantal aanwezige dieren in de stal. Gezien het werkelijke aantal aanwezige dieren varieert doorheen de meetperiode en bij momenten sterk verschilt van het aantal ligbedden, krijgt de tweede berekeningsmethode de voorkeur ten opzichte van de eerste. Op basis van de tweede berekeningsmethode kan geconcludeerd worden dat **stal B1 een merklijk groter besmeurd oppervlak per aanwezig dier heeft, namelijk gemiddeld 7,02 m², in vergelijking met de andere drie stallen (gemiddeld tussen 4,60 m² en 5,17 m²).**

Tabel 9: Overzicht van het bevulde oppervlak (m²) gedurende de meetcampagne.

	B1	B2	B3	B4
Besmeurd oppervlak per ligbed	6,06	5,66	5,42	7,09
Minimaal besmeurd oppervlak per dier	6,42	4,38	4,00	4,84
Gemiddeld besmeurd oppervlak per dier	7,02	4,70	4,60	5,17
Maximaal besmeurd oppervlak per dier	8,19	5,22	5,48	5,47
Besmeurd oppervlak per vergunde dierplaats	5,52	4,81	4,91	6,98

4.2.2 Klimaat

De landbouwkundige randvoorwaarde stelt dat de CO₂-concentratie in de lucht van de stal op dierniveau onder de 2000 ppm moet blijven. Een overzicht van de gemeten CO₂-concentraties is terug te vinden in Tabellen 26 tot 29. Op basis van de maximale CO₂-waarden die gedurende de meetcampagne werden opgemeten kan besloten worden dat de CO₂-concentraties in stal B1, B2 en B3 steeds onder 2000 ppm zijn gebleven. In stal B4 werden wel maximale waarden boven 2000 ppm opgemeten. Dit was het geval op 1 meetdag, nl. 12/01/2024.

4.2.3 Rantsoen

Tijdens de meetperioden van één jaar zijn de rantsoensamenstellingen van de vier melkveebedrijven (B1, B2, B3 en B4) bevroegd. De gemiddelde samenstelling en variatie in rantsoenen zijn opgelijst in Tabel 10, waarbij een onderscheid is gemaakt tussen de bijdragen van ruwvoer (maïskuil, graskuil en bijproducten) en krachtvoer. De bijdrage van ruwvoer is gebaseerd op rantsoenberekeningen van de bedrijven en geeft dus geen beeld van de werkelijke opname. Voor de bedrijven B2, B3 en B4 konden de gegevens over de gemiddelde krachtvoeropname via krachtvoederautomaten worden meegenomen in de berekening van de rantsoensamenstelling. Voor bedrijf B1 waren dergelijke gegevens niet beschikbaar, waardoor het krachtvoederaandeel hier enkel een inschatting betreft.

Het is belangrijk te vermelden dat de berekende rantsoenen niet noodzakelijk overeenkomen met de daadwerkelijke opname door de koeien. Dit komt doordat gegevens over zowel de gevoederde hoeveelheden als de daadwerkelijke opname van ruwvoer (en krachtvoer in het geval van bedrijf B1) ontbreken. Om die reden dienen de resultaten met de nodige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd.

Het aantal rantsoenwissels varieerde tussen de bedrijven: B1 had acht wissels, B2 en B3 elk drie, en B4 vijf wissels gedurende het jaar. Het gemiddelde ingeschatte ruwvoederaandeel (als percentage van de droge stof) en de verdeling van maïskuil, graskuil en bijproducten per bedrijf worden hieronder weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10: Het aantal rantsoenwissels en een inschatting van het aandeel ruwvoer, maïskuil, graskuil en bijproducten op de vier melkveebedrijven tijdens de meetperioden.

	B1	B2	B3	B4
Aantal rantsoenwissels	8	3	3	5
Gemiddeld ruwvoer¹ (% DS)	65% 61 – 73%	70% 68 – 72%	67% 66 – 69%	71% 69 – 75%
Maïskuil (% DS)	45% 35 – 57%	53% 49 – 57%	50% 46 – 55%	48% 42 – 50%
Graskuil² (% DS)	39% 30 – 43%	30% 27 – 32%	31% 27 – 34%	35% 32 – 42%
Bijproducten³ (% DS)	16% 0 – 22%	17% 16 – 19%	19% 18 – 20%	17% 15 – 19%

¹ Het gemiddeld aandeel ruwvoer (maïskuil, graskuil en bijproducten) in het berekende rantsoen, uitgedrukt als percentage van de totale geschatte DS-opname. Voor bedrijven B2, B3 en B4 is de extra krachtvoedergift meegerekend. Voor bedrijf B1 ontbreekt deze informatie, waardoor het werkelijke aandeel ruwvoer mogelijk lager ligt.

² Inclusief een beperkt aandeel hooi en luzernekuil.

³ Bevat diverse bijproducten zoals bietenperspulp, draf, voederbieten en Protistar.

Geen van de bedrijven voldoet aan de randvoorwaarde dat minimaal 80% van de droge stofopname uit ruwvoer moet bestaan, aangezien het aandeel ruwvoer gemiddeld rond de 70% ligt. In Vlaanderen zijn gegevens over de gemiddelde rantsoensamenstelling van melkveebedrijven schaars. Echter, op basis van eigen ILVO-data en het eindwerk van Mahieu (2014) kan worden vastgesteld dat de randvoorwaarde van 80% niet realistisch is voor de praktijk en dat het Vlaams gemiddelde eerder rond de 70% ligt. Bedrijf B1 heeft het laagste aandeel ruwvoer in het rantsoen. Bovendien is hier geen rekening gehouden met de werkelijke krachtvoedergift en een eventuele extra krachtvoedergift op basis van melkproductie, waardoor het werkelijke aandeel ruwvoer mogelijks nog lager ligt. **De bedrijven hanteren overwegend maïsrijke rantsoenen, bestaande uit ongeveer 45–55% maïskuil, 30–40% graskuil en 15–20% bijproducten.**

Tabel 11 geeft de veronderstelde totale droge stofopname (kg/d) en het VEM- (/kg DS), DVE- (g/kg DS), OEB- (g), en ruw eiwitgehalte (g/kg DS) van het totale rantsoen weer, gebaseerd op de berekende rantsoenen en de krachtvoedergift. Voor bedrijf B1 betreft dit een inschatting van de krachtvoedergift, aangezien werkelijke gegevens ontbreken.

Tabel 11: Inschatting van de totale droge stofopname en de inhoud (VEM, DVE, OEB en RE) van het totale rantsoen, gebaseerd op de berekende rantsoenen en de krachtvoedergift. Voor bedrijf B1 werd de krachtvoedergift ingeschat aangezien werkelijke gegevens ontbreken.

	B1	B2	B3	B4
DS-opname (kg/d)	21,9 ± 0,5	23,2 ± 0,6	28,5 ± 0,3	26,0 ± 0,7
VEM (/kg DS)	964 ± 22	992 ± 6	1005 ± 2	951 ± 6
DVE (g/kg DS)	90 ± 4	96 ± 2	96 ± 1	95 ± 3
OEB (g)	268 ± 68	230 ± 54	273 ± 74	240 ± 73
RE (g/kg DS)	163 ± 4	158 ± 2	156 ± 1	166 ± 3

De geschatte gemiddelde droge stofopname van de bedrijven varieert van 22,0 tot 28,5 kg/d, waarbij een logisch verband zichtbaar is tussen de geschatte opname en het productieniveau van elk bedrijf (zie Tabel 12). Voor bedrijf B1 ligt de werkelijke droge stofopname mogelijks hoger.

aangezien de berekening geen rekening houdt met de feitelijke krachtvoedergift en eventuele aanvullende krachtvoedergift op basis van melkproductie.

Voor bedrijf B3 wordt de geschatte droge stofopname als uitzonderlijk hoog beschouwd. Hoewel dit bedrijf de hoogste melkproductie realiseert, zou de geschatte droge stofopname in combinatie met de VEM-inhoud, overeenkomen met een productie van 48 kg meetmelk per dag. Dit suggereert dat de werkelijke droge stofopname waarschijnlijk lager ligt, wat de beperking ondersteunt van het gebruik van berekende rantsoenen als indicatie voor de werkelijke opname.

De berekende rantsoeninhoud van de verschillende bedrijven toont een relatief uniforme samenstelling, variërend van 950 tot 1000 VEM/kg DS, 90 tot 96 g DVE/kg DS, en 230 tot 273 g OEB. **Het geschatte ruw eiwitgehalte varieert tussen 15,6% en 16,6%, waarmee alle bedrijven in principe voldoen aan de randvoorwaarde van minimaal 150 g ruw eiwit per kg droge stof in hun rantsoen.** De daadwerkelijke opname van het rantsoen kan echter invloed hebben op de verhouding tussen ruwvoedermengeling en krachtvoer, wat ook een impact kan hebben op de werkelijke samenstelling van het totaal rantsoen. Voor bedrijf B1 zijn de waarden het minst betrouwbaar, aangezien er geen gegevens beschikbaar zijn over de werkelijke krachtvoedergift.

4.2.4 Melkproductie en -ureumgehalte

De melkproductie en het verloop van het ureumgehalte in de melk tijdens de meetperiodes op de vier meetlocaties wordt weergegeven in Figuur 27.

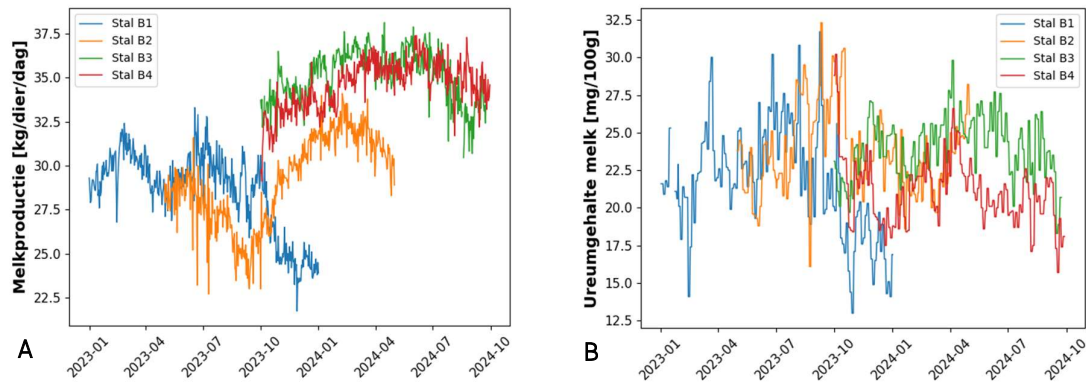
Tabel 12 toont de gemiddelde melkproductie voor elk van de meetlocaties en het gemiddelde ureumgehalte in de melk. De dieren in stallen B3 en B4 hadden tijdens de meetcampagne een vrij gelijkaardige gemiddelde melkproductie (ongeveer 35 kg/dier/dag). Deze meetlocaties voldoen hiermee gedurende de volledige meetperiode aan de minimale waarde van 25 kg/dier/dag zoals gesteld in de landbouwkundige randvoorwaarden. De dieren in stallen B1 en B2 hadden een duidelijk lager melkproductie (ongeveer 29 kg/dier/dag). De gemiddelde melkproductie en de 25%-percentiel waarde liggen boven de minimale waarde van 25 kg/dier/dag. Er zijn wel dagen in de meetperiode waarbij de melkproductie onder deze minimale waarde lag.

Het ureumgehalte van de melk die tijdens de meetperiode werd geproduceerd varieerde tussen 21 en 24 mg/100 ml. Bij stallen B2, B3 en B4 werd over de volledige meetperiode voldaan aan de landbouwkundige randvoorwaarde (minimaal 15 mg/100 ml). Enkel bij stal B1 zakte het melkureumgehalte een beperkt aantal keer onder de minimale waarde van 15 mg/100 ml. De 25%-percentielwaarde bedroeg 19,4 mg/100 ml en lag hiermee ruim boven de minimale waarde.

Tabel 12: Gemiddelde productie en ureumgehalte van de melk in de vier melkveebedrijven tijdens de meetperiode.

	B1	B2	B3	B4	Minimale waarde*
Melkproductie [kg/dier/dag]	28,50 ± 2,30	29,20 ± 2,54	35,00 ± 1,81	34,60 ± 1,42	25
Ureumgehalte [mg/100ml]	21,80 ± 3,71	23,70 ± 2,91	23,90 ± 2,16	21,00 ± 2,26	15

*landbouwkundige randvoorwaarden zoals opgenomen in [Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen \(versie 2\)](#)



Figuur 27: Melkproductie (A) en het ureumgehalte (B) in de melk voor de vier meetlocaties tijdens de respectievelijke meetperiodes.

4.2.5 Discussie

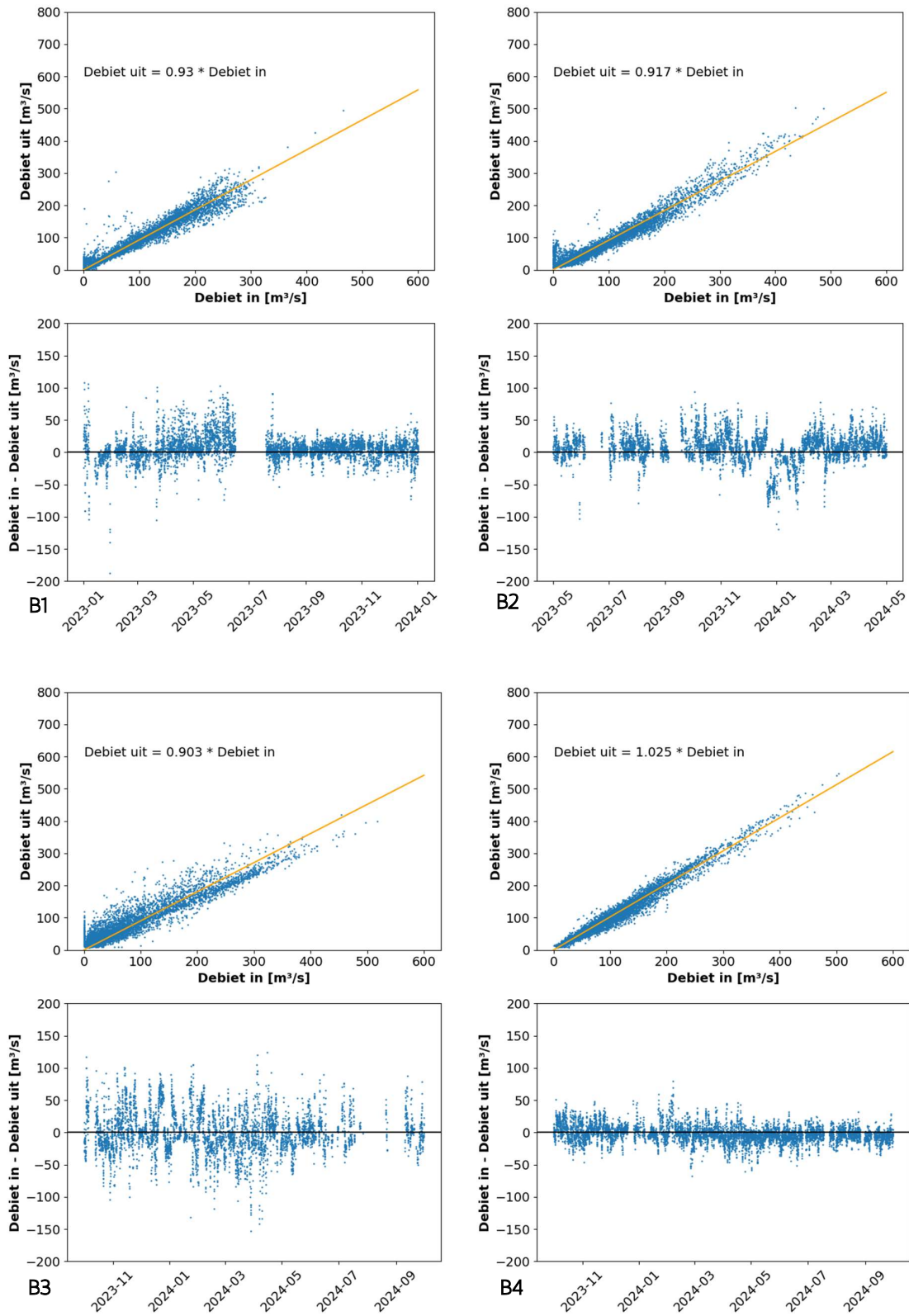
Landbouwkundige randvoorwaarden zijn opgesteld om ervoor te zorgen dat emissiemetingen uitgevoerd worden op stallen die representatief zijn voor de stallenpopulatie én om te vermijden dat andere emissiereducerende ingrepen dan diegene die onderzocht worden een vertekend beeld zouden geven van de gemeten emissiereductie. In dit onderzoek wordt geen emissiereducerende techniek of maatregel onderzocht, maar is het de bedoeling om de gemiddelde emissie te bepalen van een melkveestal in Vlaanderen. De meetlocaties werden gekozen op basis van de randvoorwaarden die door experts waren opgesteld om beschouwd te kunnen worden als traditionele Vlaamse melkveestal. Binnen deze populatie werden de meetlocaties ad random gekozen en zouden dus een doorsnede moeten vormen van de traditionele Vlaamse melkveestallen. Afwijkingen ten opzichte van de landbouwkundige randvoorwaarden moeten in dit opzicht gezien worden als een indicatie dat deze afwijkingen effectief voorkomen bij praktijkstallen eerder dan dat deze metingen niet representatief zouden zijn voor de populatie van melkveestallen in Vlaanderen.

4.3 Ventilatiegebieten

4.3.1 ILVO-metmethode

a. Controle van de ventilatiebalans

De ventilatiebalansen van alle meetlocaties opgemaakt op basis van de volledige meetperiode worden getoond in Figuur 28. De vergelijkingen bekomen na uitvoering van de lineaire regressies worden eveneens weergegeven op de grafieken. **Aan het vooropgestelde criterium van 15% afwijking, en dus hellingen tussen 0,85 en 1,15 wordt voor alle meetlocaties voldaan.**



Figuur 28: Ventilatiebalansen (opgemaakt op basis van de volledige meetperiode) als spreidingsplots (bovenste figuren) en als tijdserie (onderste figuren) per meetlocatie

b. Data-exploratie

Figuur 29 toont de tijdseries van de debieten (uitgedrukt per dier) door de verschillende openingen van de vier melkveestallen. Om de lange termijn trends duidelijk te maken werd deze figuur opgesteld met een voortschrijdend 7-daags gemiddelde. De numerieke samenvatting van de ventilatiedata (per 10 minuten) per stal en per ventilatie opening kan teruggevonden worden in tabellen 14 tot 17.

Tabel 13 toont het aantal overblijvende datapunten na elke filterstap. Het is duidelijk dat de **poorten** in stal B2 en B3 gedurende de meetperiode regelmatig open hebben gestaan. Ongeveer 30% tot 34% van de verzamelde debietdata kon hierdoor niet benut worden.

Het implementeren van de randvoorwaarde van **unidirectionaliteit**, zorgde in alle stallen voor een reductie in het aantal datapunten van ongeveer 26% tot 30% (ten opzichte van het aantal datapunten die overbleef na het weglaten van de data bij open poorten). Bij stal B1 werden bijkomend datapunten weggelaten ($\pm 11\%$) vanwege foutieve uitlezing van de schermstanden

Algemeen kan vastgesteld worden dat door de implementatie van de gestelde randvoorwaarden een groot deel van de datapunten voor de bepaling van de ventilatiedebieten niet benut kan worden. Het relatief aantal overblijvende datapunten varieert van 43% bij B3 tot 62% bij B4.

Het is duidelijk dat de nok qua ventilatiedebiet (veel) minder bijdraagt dan de zijopeningen. Bij meetlocatie B1 werden de laagste nokdebieten opgemeten. Het gemiddelde nokdebiet over een jaar was een uitgaand debiet van $0,24 \text{ m}^3/\text{s}$. Bij de andere meetlocaties lag het gemiddelde debiet doorheen de nok tussen 13 en $24 \text{ m}^3/\text{s}$ (uitgaande debieten). Het klein debiet doorheen de nok van B1 kan verklaard worden door de kleine nokopening. De nok van stal B1 heeft een opening met een breedte van slechts 5 cm. Voor stallen B2, B3 en B4 is deze openingsbreedte, respectievelijk, 35 cm, 19 cm en 25 cm.

De nok functioneert meestal als uitlaat: in stal B3 en B4 werden geen ingaande debieten geregistreerd; in stal B2 is 96,2% van de data uitgaand.

Bij meetlocatie B4 dragen de extra openingen in de kopgevels amper bij tot de totale ventilatie. De debieten door deze openingen bedragen gemiddeld $0,78 \text{ m}^3/\text{s}$ (ingaaand debiet) en $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ (ingaaand debiet) voor opening 1 en opening 2, respectievelijk.

Tabel 13: Aantal overblijvende datapunten na elke filterstap. De percentuele verschillen geven het verlies aan ten opzichte van de voorgaande stap.

	B1	B2	B3	B4
Start	49987	50620	46996	49457
Gesloten poorten	46529 (-7%)	35602 (-30%)	31179 (-34%)	44023 (-11%)
Unidirectionaliteit	32373 (-30%)	25303 (-29%)	22886 (-27%)	32485 (-26%)
Probleem periodes	28803 (-11%)	25303	22886	32485

Tabel 14: Statistieken van de verdeling van de debieten (m^3/s) door de nok-, ZW-, en NO-openingen van stal B1. Positieve waarden zijn ingaande luchtdebieten, negatieve waarden zijn uitgaande luchtdebieten.

	Nok	ZW	NO
Maximaal aantal datapunten	52548	52548	52548
Aantal bruikbare datapunten	28803 (55%)	28803 (55%)	28803 (55%)
Gemiddelde	-0,24	36,02	-28,72
Standaardafwijking	0,58	124,05	128,88
Minimum	-3,44	-333,63	-518,98
25%-percentiel	-0,49	-53,34	-118,82
50%-percentiel	-0,06	53,26	-49,21
75%-percentiel	0,15	126,43	54,29
Maximum	0,80	491,56	399,82

Tabel 15: Statistieken van de verdeling van de debieten (m^3/s) door de nok-, ZW-, en NO-openingen van stal B2. Positieve waarden zijn ingaande luchtdebieten, negatieve waarden zijn uitgaande luchtdebieten.

	Nok	ZW	NO
Maximaal aantal datapunten	52692	52692	52692
Aantal bruikbare datapunten	25303 (48%)	25303 (48%)	25303 (48%)
Gemiddelde	-24,49	83,60	-49,47
Standaardafwijking	16,11	110,36	94,06
Minimum	-96,52	-224,70	-505,88
25%-percentiel	-35,28	0,25	-98,23
50%-percentiel	-22,25	74,76	-35,71
75%-percentiel	-13,04	154,03	16,30
Maximum	27,49	578,06	242,91

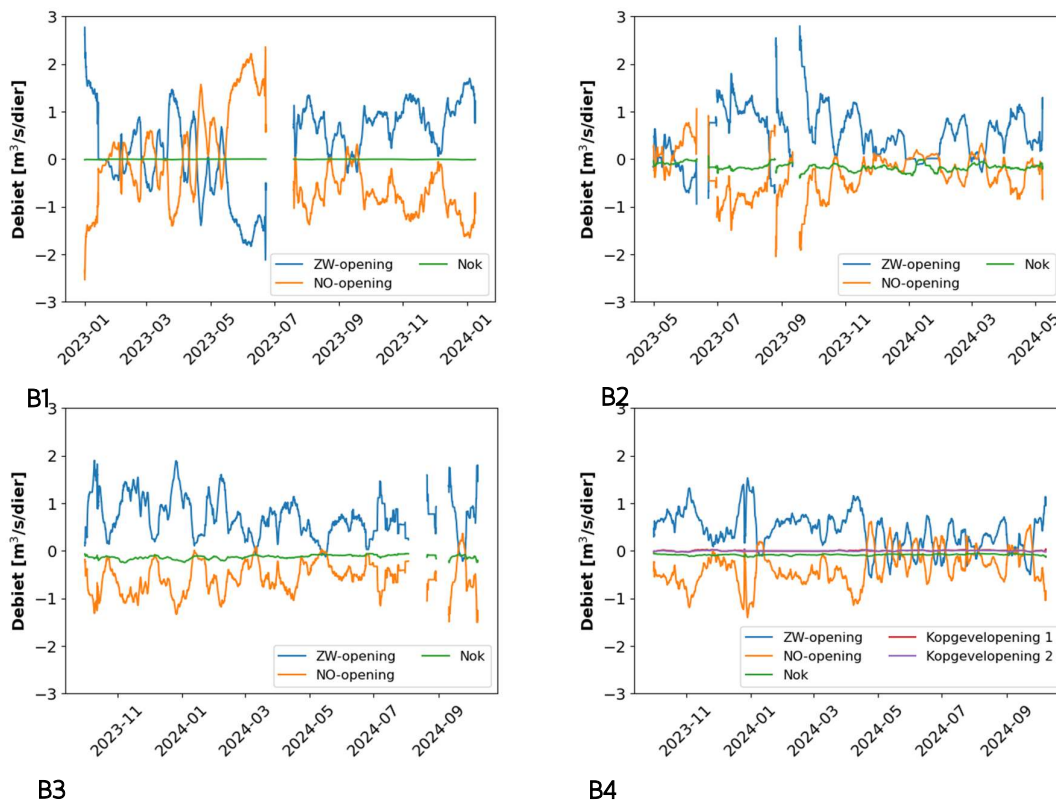
Tabel 16: Statistieken van de verdeling van de debieten (m^3/s) door de nok-, ZW-, en NO-openingen van stal B3. Positieve waarden zijn ingaande luchtdebieten, negatieve waarden zijn uitgaande luchtdebieten.

	Nok	ZW	NO
Maximaal aantal datapunten	52692	52692	52692
Aantal bruikbare datapunten	22886 (43%)	22886 (43%)	22886 (43%)
Gemiddelde	-16,52	95,00	-74,28
Standaardafwijking	8,35	100,31	76,51
Minimum	-63,85	-116,80	-458,88
25%-percentiel	-21,58	17,69	-124,73
50%-percentiel	-14,12	72,51	-58,23
75%-percentiel	-9,75	158,96	-20,04
Maximum	-0,57	620,12	126,66

Tabel 17: Statistieken van de verdeling van de debieten (m^3/s) door de nok-, ZW-, NO-, en kopgevelopeningen van stal B4. Positieve waarden zijn ingaande luchtdebieten, negatieve waarden zijn uitgaande luchtdebieten.

	Nok	ZW	NO	Kopgevelopening 1 (m^3/s)	Kopgevelopening 2 (m^3/s)
Maximaal aantal datapunten	52692	52692	52692	52692	52692
Aantal bruikbare datapunten	32485 (62%)	32485 (62%)	32485 (62%)	32485 (62%)	32485 (62%)
Gemiddelde	-13,07	70,45	-60,83	0,78	0,02
Standaardafwijking	4,79	112,37	107,58	4,19	3,58
Minimum	-47,55	-358,06	-570,69	-18,32	-16,44
25%-percentiel	-15,42	12,14	-119,68	-1,32	-1,61
50%-percentiel	-11,69	75,82	-65,07	0,00	-0,13
75%-percentiel	-9,61	134,30	-8,94	2,92	1,47
Maximum	-4,34	588,01	360,30	28,35	22,54

De grafieken in Figuur 29 geven een duidelijk zicht op de luchtdoorstroming door de stallen tijdens de meetperiode. De debieten door de NO-openingen zijn overwegend negatief. Dit komt overeen met de vaststelling dat de meest dominante windrichting zuidwesten of zuidzuidwesten was. De grafieken tonen duidelijk de momenten waarbij de luchtstroming door de stallen wijzigt van richting, namelijk wanneer de blauwe en oranje grafieken wisselen van teken. Hoe vaak dit optreedt is sterk afhankelijk van de meetperiode en stallocatie. Stallocatie B3 toont opvallend weinig wisseling van teken. Vermoedelijk is dit gerelateerd aan de aanwezigheid van een andere stal en opslag net naast de stal aan de NO-kant die de ingaande lucht vanuit die richting blokkeren.



Figuur 29: Tijdseries van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde van de ventilatiedebieten per dier van de vier melkveestallen per opening. Positieve waarden zijn ingaande luchtdebieten, negatieve waarden zijn uitgaande luchtdebieten.

Een overzicht van de uitgaande debieten per dier wordt getoond in Tabel 18. Stal B1 heeft een duidelijk hoger uitgaand ventilatiedebiet per dier in vergelijking met de andere stallen.

Tabel 18: Uitgaande debieten per stal ($m^3/s/dier$) gedurende de volledige meetperiode.

	B1	B2	B3	B4
Gemiddelde	0,95	0,66	0,74	0,69
Standaardafwijking	0,61	0,53	0,57	0,44
Minimum	0,001	0,05	0,07	0,06
25%-percentiel	0,45	0,27	0,30	0,37
50%-percentiel	0,82	0,50	0,55	0,59
75%-percentiel	1,37	0,90	1,08	0,89
Maximum	4,38	3,79	3,54	3,25

c. Discussie

Algemeen kan gesteld worden dat het mogelijk is om met behulp van de nieuw ontwikkelde ILVO-methode ventilatiedebieten van melkveestallen met een heel hoge frequentie en op een nauwkeurige manier te meten. Met deze methode is het mogelijk om inzicht te krijgen in de manier waarop lucht door de stal stroomt en wat de invloed is van de stalconstructie (zoals vb. de breedte van de nokopening) op deze luchtstroming en de ventilatie efficiëntie.

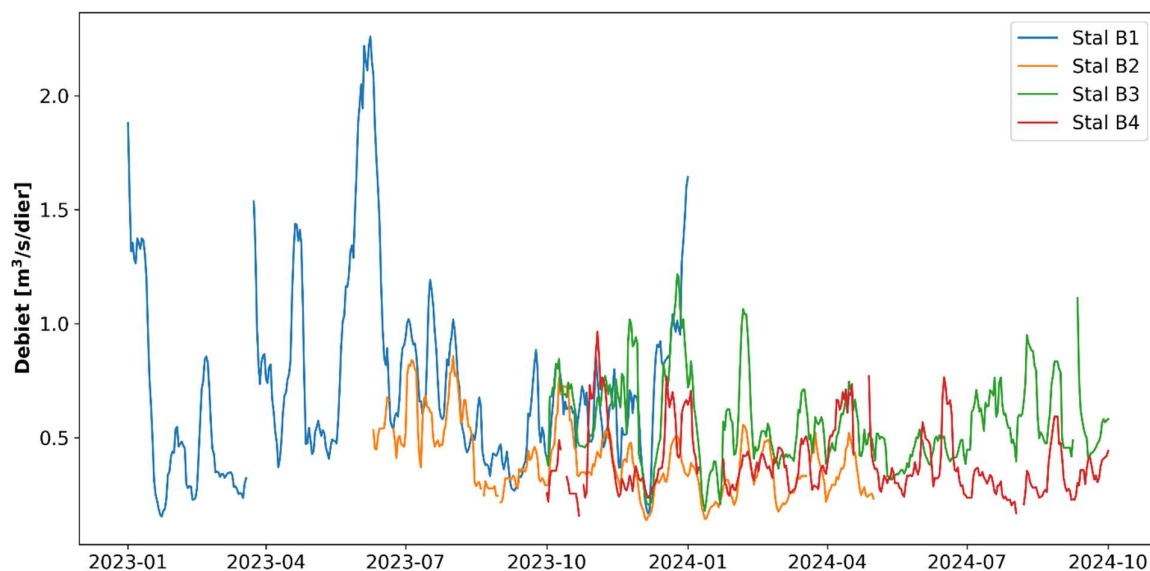
Het is belangrijk om naast de voormetingen van 4 weken ook de nodige kwaliteitscontroles uit te voeren gedurende de meetcampagne om de juistheid van de data te garanderen.

4.3.2 VERA-meetmethode

a. Data-exploratie

Met de VERA-meetmethode kunnen de uitgaande debieten enkel op dagelijkse basis bepaald worden. De tijdsreeksen van de berekende ventilatiedebieten in de vier stallen zijn weergegeven in Figuur 30. Om de langetermijn trends duidelijk te visualiseren zijn de 7-daags voortschrijdende gemiddelden weergegeven. De numerieke samenvatting van de ventilatiedata (op dagbasis) per stal zijn weergegeven in Tabel 19.

Het gemiddeld uitgaand debiet varieert van 0,40 $m^3/s/dier$ in stal B2 en B4 tot 0,73 $m^3/s/dier$ in stal B1.



Figuur 30: Tijdsreeksen van het 7-daagse voortschrijdend gemiddelde van de ventilatiedebieten berekend volgens de VERA-meetmethode.

Tabel 19: Statistieken van de verdeling van de uitgaande debieten ($m^3/s/dier$) zoals bepaald met de VERA-meetmethode.

	B1	B2	B3	B4
Aantal dagen	366	367	367	367
Aantal bruikbare dagen	328 (90%)	279 (76%)	318 (87%)	265 (72%)
Gemiddelde	0,73	0,40	0,57	0,40
Standaardafwijking	0,56	0,24	0,34	0,26
Minimum	0,09	0,09	0,11	0,12
25%-percentiel	0,33	0,24	0,35	0,23
50%-percentiel (mediaan)	0,52	0,35	0,46	0,33
75%-percentiel	0,97	0,49	0,66	0,49
Maximum	3,36	2,03	3,12	1,73

4.3.3 Vergelijking ventilatiedebieten bepaald met ILVO- en VERA-meetmethode

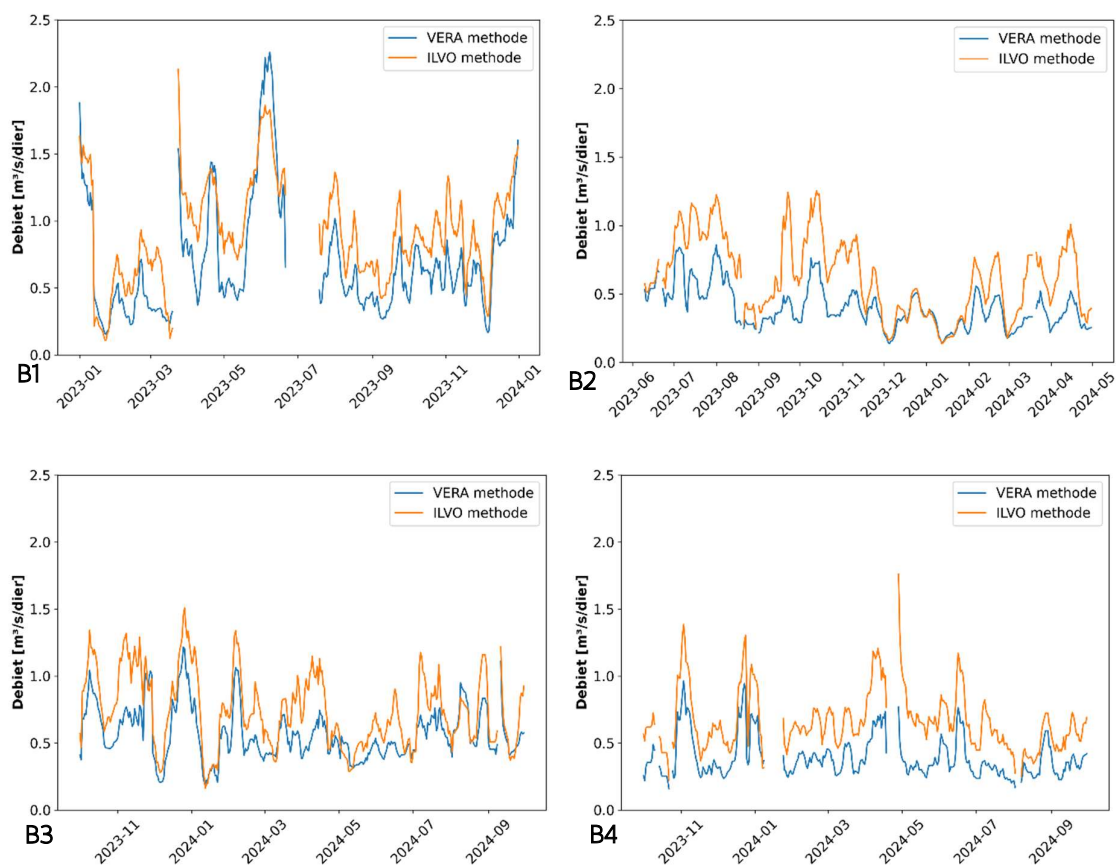
Om inzicht te verkrijgen in de verschillen tussen beide meetmethodes werden de uitgaande debieten bepaald volgens de ILVO-meetmethode vergeleken met de uitgaande debieten bepaald volgens de VERA-meetmethode. Voor wat het uitgaande debiet volgens de ILVO-meetmethode betreft werden de absolute waarden van de uitgaande debieten per opening per tien minuten opgeteld, waarna het gemiddelde uitgaande debiet op dagbasis werd bepaald.

Om de trends te visualiseren werd per stal de tijdsreeksen van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde van de uitgaande debieten bepaald volgens beide meetmethodes en weergegeven in Figuur 31. Bijkomend werd een spreidingsplot gemaakt waarbij de daggemiddelde debieten bepaald met beide meetmethodes één op één werden geplotted per stal (Figuur 32).

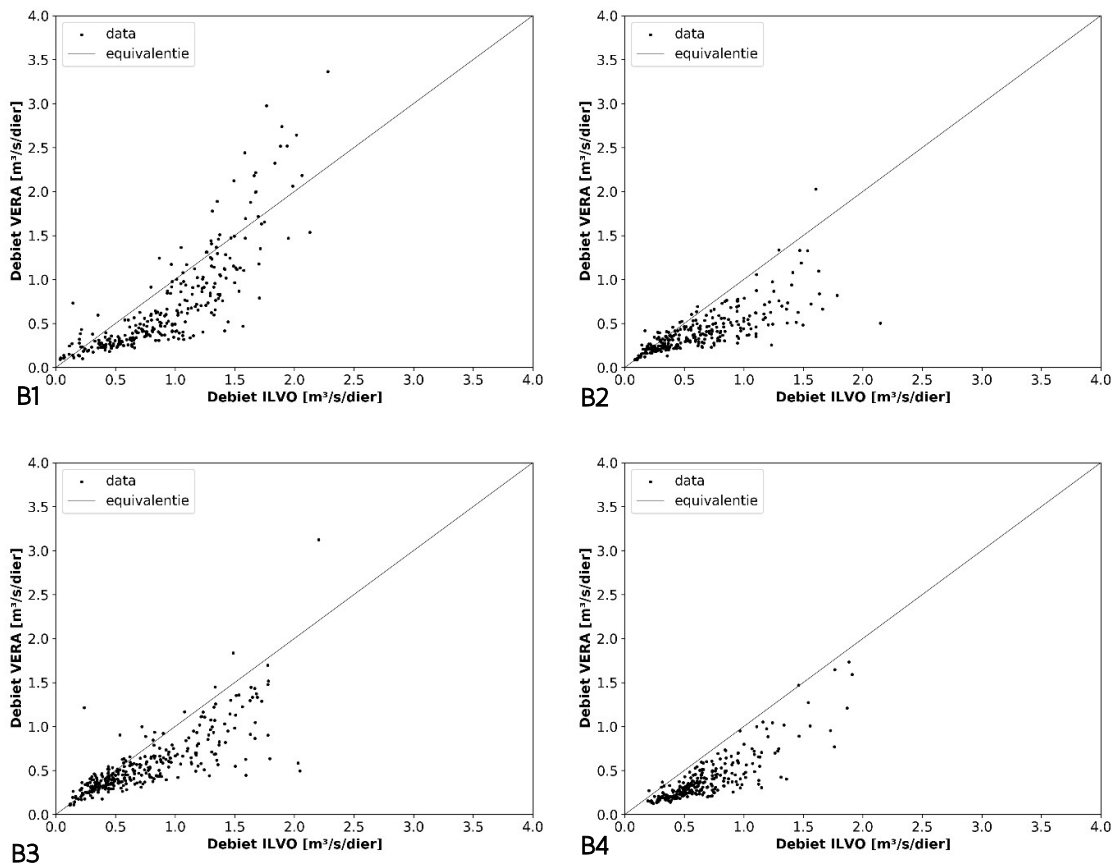
Het relatieve verschil tussen de debieten (VERA-meetmethode – ILVO-meetmethode) op dagbasis is gemiddeld -9% en varieert tussen -33% en 34%. Hoe de beide methoden zich verhouden is verschillend per stal en afhankelijk van de grootte van het debiet. De overeenkomst tussen beide methodes lijkt het grootste bij stallen B2 en B3 bij lage debieten. Bij hogere debieten geeft de

VERA-meetmethode lagere waarden dan de ILVO-meetmethodemethode met uitzondering van de hoogste debieten die optreden bij stal B1, in dit geval resulteert de VERA-meetmethode in hogere debieten dan de ILVO-meetmethode.

Er loopt momenteel een onderzoek in Nederland dat in dit kader relevante informatie zal opleveren. Dit betreft het NAPRO-project 'Validatie CO₂-productiemodel melkvee' dat op 31 december 2024 afliep. De resultaten van deze studie worden eerstdaags verwacht. Dit onderzoek, uitgevoerd door Wageningen University & Research, zal hoogstwaarschijnlijk resulteren in wijzigingen aan de CIGR rekenregels die gebruikt worden om het debiet te bepalen bij de VERA-meetmethode. **Enmaal de resultaten beschikbaar zijn, zullen de berekeningen met de VERA-meetmethode opnieuw worden uitgevoerd.**



Figuur 31: Tijdsreeksen van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde van de uitgaande debieten berekend met de ILVO-meetmethode en de debieten berekend met de VERA-meetmethode voor de vier meetlocaties.



Figuur 32: Spreidingsplot van de daggemiddelde debieten bepaald volgens de ILVO- en VERA-meetmethode voor de vier meetlocaties op meetdagen waarvoor meetresultaten beschikbaar zijn voor beide meetmethodes.

4.4 Ammoniak en CO₂-concentraties

4.4.1 Kwaliteitscontrole

a. Kalibratie gasanalyzers op basis van ringtesten bij VITO

De kalibratiecurven die opgemaakt werden op basis van de metingen in het geaccrediteerde labo bij VITO kunnen teruggevonden worden in 7.2 Bijlage 2: Kalibratiecurven van analyzers op basis van kalibratiemetingen bij VITO.

b. Veldvalidatie gasanalyzers met behulp van gasflessen

NH₃-concentraties

In Tabel 20 staan de gegevens die gebruikt werden voor het bepalen van het al dan niet aanwezig zijn van drift bij de gebruikte de analyzers voor ammoniak. Voor de vaststelling van drift is de p-waarde van coëfficiënt c, en indien deze groter is dan het significantieniveau, de p-waarde van coëfficiënt d, van belang.

Voor Axetris 2, 3 en 4 is er geen indicatie voor drift. Voor de overige analyzers (Axetris 1, Picarro G2508 en 2301) geeft de test aan dat er wel drift is opgetreden tijdens meetcampagne. De waarden van de coëfficiënten die uit de regressieanalyse volgen zijn echter relatief klein: $c = -0,00032$ voor

Axetris 1, $d=0,0011$ voor Picarro_G2508 en $c=-0,00035$ voor Picarro_G2301. Bijgevolg zijn de verschillen tussen het toepassen van het model met en zonder correctie voor drift niet groot. De maximale absolute verschillen in de gecorrigeerde ammoniakconcentratie bedragen 0,64 ppm voor Axetris 1, 0,10 ppm voor Picarro_G2508 en 0,46 ppm voor Picarro_G2301. Deze maximale verschillen komen steeds voor bij een concentratie van 10 ppm, waardoor het overeenkomstige relatieve verschil 6,4% bedraagt voor Axetris 1, 1,0% voor Picarro_G2508 en 4,6% voor Picarro_G2301. Gezien de zeer beperkte impact en beperkte relevantie van de aanpassingen, **werden er bijgevolg geen correcties voor drift doorgevoerd.**

Tabel 20: Samenvatting van de validatiemetingen en bijhorende regressieanalyses voor ammoniak.

	Axetris 4	Axetris 1	Axetris 2	Axetris 3	Picarro G2508	Picarro G2301
Aantal validatiemetingen	2	10	3	4	5	6
Dagen tussen eerste en laatste validatie	35	352	84	191	175	271
p-waarde voor coëfficiënt c	0,319	0,00142*	0,0839	0,0600	0,0712	0,000177*
p-waarde voor coëfficiënt d	0,425	NVT	0,588	0,112	0,00215*	NVT

* $p < 0,05$

CO₂-concentraties

Op dezelfde manier werd ook voor de sensoren die CO₂ meten, nagegaan of er drift is opgetreden. De gegevens hiervoor staan in Tabel 21. Voor Axetris 0, Axetris 2 en Picarro G2508 is er geen indicatie van drift. Voor Axetris 4 en Axetris 1 zijn de maximale absolute verschillen tussen het toepassen van modellen met en zonder correctie voor drift vergelijkbaar: 11,5 ppm en 13,1 ppm respectievelijk. Dit komt overeen met een relatief verschil van 0,58% en 0,66% ten opzichte van 2000 ppm. Voor Axetris 3 zijn deze verschillen groter, met een maximaal absoluut verschil van 95,2 ppm en overeenkomstig relatief verschil van 4,76%. Voor Axetris 3 werd omwille van deze reden geen gebruik gemaakt van de VITO kalibratievergelijking, maar wel van de validatievergelijkingen die tijdens de meetcampagne werden opgesteld. Op deze manier werd gecorrigeerd voor de vastgestelde drift. Voor de andere analyzers werden geen correcties voor drift doorgevoerd.

Tabel 21: Samenvatting van de validatiemetingen en bijhorende regressieanalyses voor CO₂

	Axetris 4	Axetris 1	Axetris 2	Axetris 3	Picarro G2508	Axetris 0
Aantal validatiemetingen	2	9	2	4	4	5
Dagen tussen eerste en laatste validatie	35	352	42	191	175	176
p-waarde voor coëfficiënt c	0,947	0,928	0,508	$3,81 \times 10^{-9}$ *	0,277	0,587
p-waarde voor coëfficiënt d	0,0432*	$7,42 \times 10^{-8}$ *	0,416	NVT	0,0687	0,0599

* $p < 0,05$

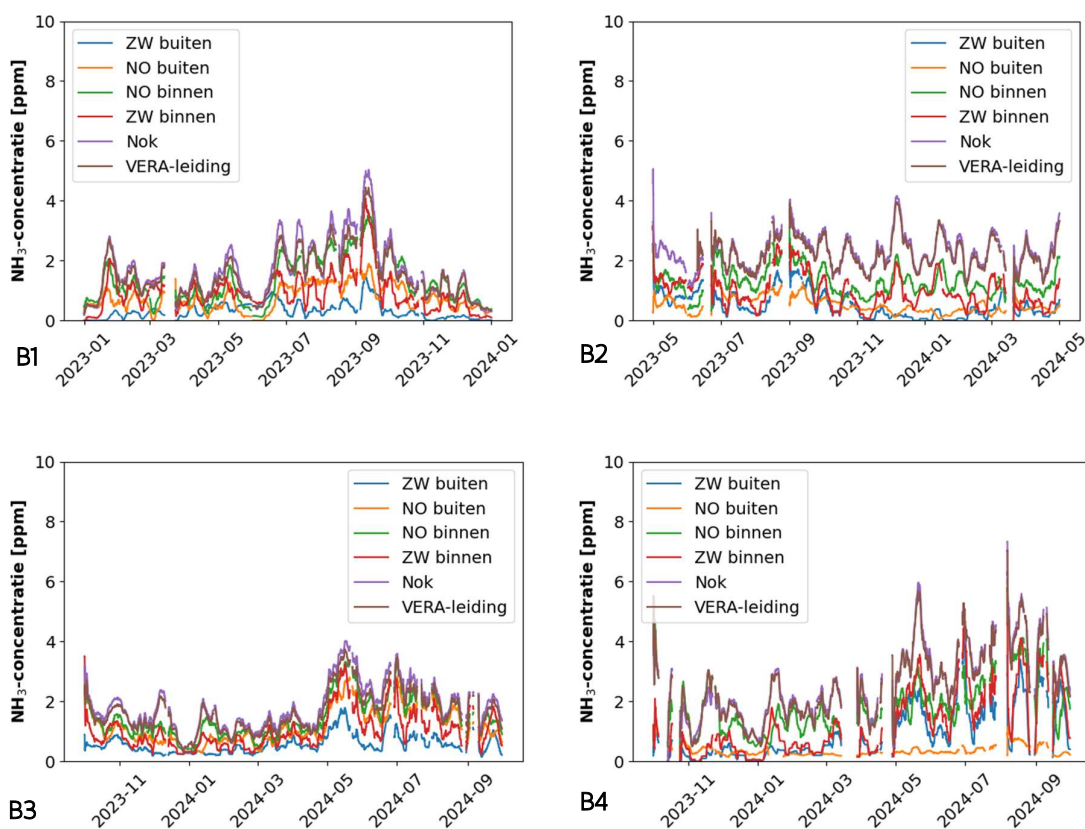
4.4.2 Data-exploratie

a. *NH₃-concentraties*

De gemeten NH₃-concentraties worden per stal en per meetlocatie getoond in Figuur 33. De hoogste concentraties werden gemeten ter hoogte van de nok en de VERA-leiding. De laagste concentraties werden, logischerwijs, gemeten in de ingaande verse lucht. Meer gedetailleerde statistieken van de gemeten NH₃-concentraties zijn terug te vinden in Tabel 22 t.e.m. Tabel 25.

Het aantal bruikbare datapunten is een stuk hoger in vergelijking met deze voor de ventilatiedebieten bij de ILVO-metmethode (tussen 73% en 92%). Hiervoor kunnen twee redenen aangehaald worden. De eerste reden is dat er geen randvoorwaarden opgelegd worden bij de gemeten ammoniakconcentraties, terwijl dit wel het geval is bij ventilatiedebieten. Ontbrekende data van ammoniakconcentraties zijn bijgevolg enkel gerelateerd aan technische problemen en het verwijderen van de data op meetdagen waarop validatiemetingen werden uitgevoerd. De tweede reden is dat er een verschillende tijdschaal gebruikt wordt. De NH₃-concentraties worden bepaald per uur, de ventilatiedebieten volgens de ILVO-methode worden bepaald per 10 minuten. Wanneer de ventilatiedebieten per uur worden uitgerekend wordt 70%, 64%, 58% en 79% van de data behouden voor stallen B1 tot B4, respectievelijk. Deze herrekening toont dus aan dat stal B4 ongeveer (\pm 1% verschil) een gelijk aantal uren aan ventilatiedata en concentratie data heeft. Bij de andere stallen ligt het aantal gemeten uren aan concentratiedata beduidend hoger. Het grote verschil tussen stal B4 en de andere stallen, komt doordat er vaker een defect was aan de meetopstelling voor de bepaling van de gasconcentraties (zie 7.3 Bijlage 3: Overzicht ongebruikte data meetcampagne).

Bij de maximale gemeten concentraties valt de hoge waarde voor stal B4 op. De maximale waarde van 18,79 ppm (gemeten op de VERA leiding) ligt een stuk hoger dan de maximale ammoniakconcentraties gemeten bij de andere stallen. Dit kan te maken hebben met een hogere ammoniakproductie in de stal, met lagere ventilatiedebieten of een combinatie van beiden. Op basis van Tabel 18 kan gesteld worden dat er geen indicatie is dat de ventilatiedebieten per dier lager was in stal B4 dan in de andere stallen.



Figuur 33: Tijdserie van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde van de NH_3 -concentraties per opening per melkveestal.

Tabel 22: Overzicht van de statistieken van de NH_3 -concentraties (ppm) gemeten in en rond stal B1.

	ZW buiten	NO buiten	NO binnen	ZW binnen	Nok	VERA- leiding
Aantal uren	8758	8758	8758	8758	8758	8758
Aantal bruikbare uren	8037 (92%)	8029 (92%)	8027 (92%)	8037 (92%)	8028 (92%)	8036 (92%)
Gemiddeld	0,32	0,76	1,32	0,95	1,68	1,53
Standaardafwijking	0,41	0,83	1,24	1,18	1,55	1,35
Minimum	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,11
25%- percentiel	<0,10	0,18	0,44	0,19	0,52	0,54
50%-percentiel (Mediaan)	0,18	0,51	0,94	0,54	1,17	1,08
75%-percentiel	0,47	1,05	1,83	1,25	2,33	2,06
Maximum	3,60	6,10	7,69	8,91	10,00	10,28

Tabel 23: Overzicht van de statistieken van de NH₃-concentraties (ppm) gemeten in en rond stal B2.

	ZW buiten	NO buiten	NO binnen	ZW binnen	Nok	VERA- leiding
Aantal uren	8782	8782	8782	8782	8782	8782
Aantal bruikbare uren	7875 (90%)	7871 (90%)	7868 (90%)	7869 (90%)	7868 (90%)	6981 (79%)
Gemiddeld	0,48	0,52	1,29	0,97	2,30	2,24
Standaardafwijking	0,73	0,45	1,03	1,12	1,33	1,24
Minimum	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,12	0,12
25%- percentiel	<0,10	0,22	0,59	0,12	1,20	1,26
50%-percentiel (Mediaan)	0,14	0,43	0,96	0,56	2,08	2,03
75%-percentiel	0,66	0,68	1,66	1,48	3,21	3,08
Maximum	5,21	3,94	7,58	7,63	8,19	7,58

Tabel 24: Overzicht van de statistieken van de NH₃-concentraties (ppm) gemeten in en rond stal B3.

	ZW buiten	NO buiten	NO binnen	ZW binnen	Nok	VERA- leiding
Aantal uren	8782	8782	8782	8782	8782	8782
Aantal bruikbare uren	7935 (90%)	7904 (90%)	7914 (90%)	7935 (90%)	7924 (90%)	7930 (90%)
Gemiddeld	0,57	1,14	1,41	1,02	1,81	1,64
Standaardafwijking	0,67	0,98	1,12	1,18	1,26	1,16
Minimum	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
25%- percentiel	0,22	0,39	0,54	0,24	0,79	0,72
50%-percentiel (Mediaan)	0,31	0,87	1,10	0,44	1,62	1,44
75%-percentiel	0,63	1,56	1,99	1,41	2,59	2,32
Maximum	6,55	7,02	7,78	9,41	9,13	8,49

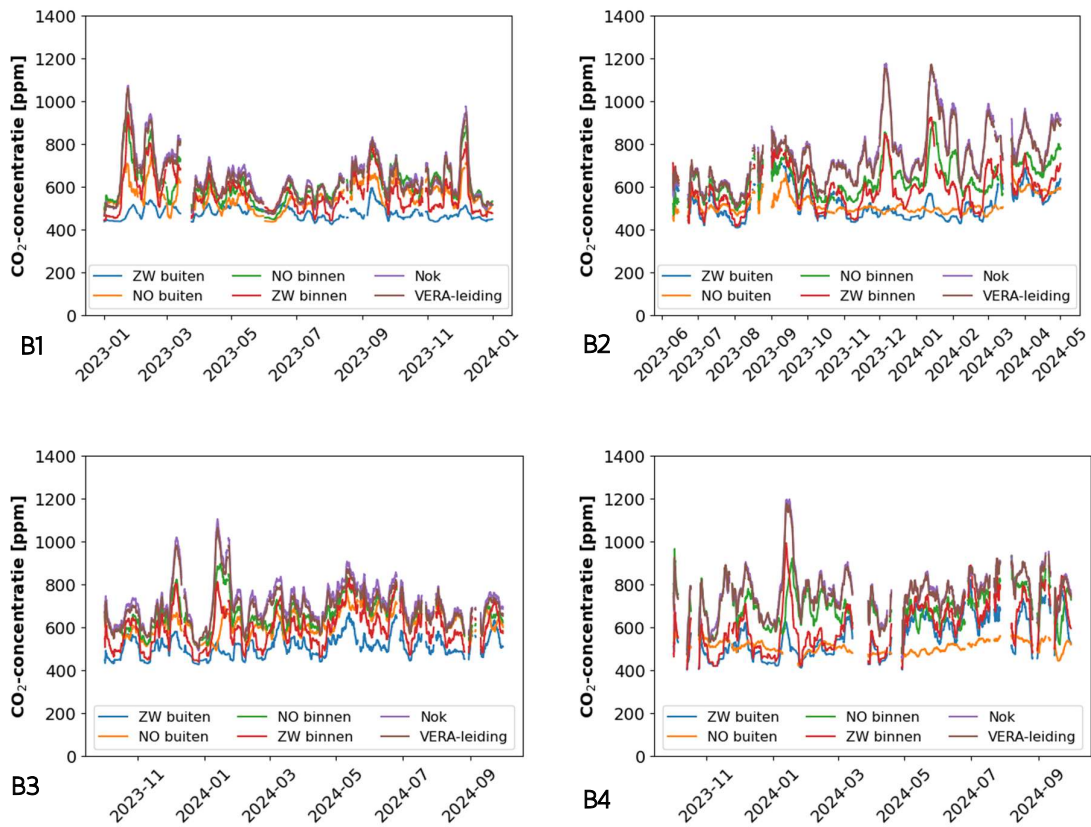
Tabel 25: Overzicht van de statistieken van de NH₃-concentraties (ppm) gemeten in en rond stal B4.

	ZW buiten	NO buiten	NO binnen	ZW binnen	Nok	VERA- leiding
Aantal uren	8782	8782	8782	8782	8782	8782
Aantal bruikbare uren	6882 (78%)	6379 (73%)	6874 (78%)	6882 (78%)	6876 (78%)	6878 (78%)
Gemiddeld	0,90	0,36	1,79	1,26	2,60	2,51
Standaardafwijking	1,68	0,33	1,82	1,99	2,21	2,28
Minimum	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
25%- percentiel	0,15	0,17	0,50	0,16	0,92	0,81
50%-percentiel (Mediaan)	0,20	0,23	1,14	0,20	1,92	1,75
75%-percentiel	0,71	0,44	2,44	1,60	3,66	3,55
Maximum	14,07	10,62	11,74	12,74	18,07	18,79

b. CO₂-concentratie

De gemeten CO₂-concentraties worden per stal en per meetlocatie getoond in Figuur 34. Net zoals dit het geval was voor de NH₃-concentraties werden de hoogste concentraties gemeten ter hoogte van de nok en de VERA-leiding. De laagste concentraties werden gemeten in de buitenlucht. Meer gedetailleerde statistieken van de gemeten CO₂-concentraties zijn terug te vinden in Tabel 26 tot Tabel 29.

Het aantal gemeten uren aan CO₂-concentraties komt overeen met het aantal gemeten uren aan NH₃-concentraties, behalve voor stal B2. De CO₂-module van de Axetris box was gedurende een periode van de meetcampagne defect.



Figuur 34: Tijdserie van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde van de CO₂-concentraties per opening per melkveestal.

Tabel 26: Overzicht van de statistieken van de CO₂-concentraties (ppm) gemeten in en rond stal B1.

	ZW buiten	NO buiten	NO binnen	ZW binnen	Nok	VERA- leiding
Aantal uren	8758	8758	8758	8758	8758	8758
Aantal bruikbare uren	8037 (92%)	8029 (92%)	8027 (92%)	8037 (92%)	8028 (92%)	8036 (92%)
Gemiddeld	480	557	612	575	646	635
Standaardafwijking	58	161	193	190	218	204
Minimum	404	408	411	408	414	413
25%- percentiel	440	451	479	455	481	487
50%-percentiel (Mediaan)	457	487	541	491	556	547
75%-percentiel	505	606	679	616	761	729
Maximum	942	1834	1989	1974	1991	1957

Tabel 27: Overzicht van de statistieken van de CO₂-concentraties (ppm) gemeten in en rond stal B2.

	ZW buiten	NO buiten	NO binnen	ZW binnen	Nok	VERA- leiding
Aantal uren	8782	8782	8782	8782	8782	8782
Aantal bruikbare uren	6876 (78%)	6871 (78%)	6869 (78%)	6865 (78%)	6869 (78%)	6867 (78%)
Gemiddeld	518	518	639	596	754	742
Standaardafwijking	156	90	187	213	250	238
Minimum	378	383	384	381	394	398
25%- percentiel	432	464	502	439	553	557
50%-percentiel (Mediaan)	450	493	582	522	697	686
75%-percentiel	532	549	720	663	921	894
Maximum	1462	1487	1866	1620	1818	1798

Tabel 28: Overzicht van de statistieken van de CO₂-concentraties (ppm) gemeten in en rond stal B3.

	ZW buiten	NO buiten	NO binnen	ZW binnen	Nok	VERA- leiding
Aantal uren	8782	8782	8782	8782	8782	8782
Aantal bruikbare uren	7935 (90%)	7904 (90%)	7914 (90%)	7935 (90%)	7924 (90%)	7930 (90%)
Gemiddeld	514	617	659	598	719	696
Standaardafwijking	144	165	192	218	223	206
Minimum	391	424	421	395	412	411
25%- percentiel	432	497	513	441	526	526
50%-percentiel (Mediaan)	447	559	593	473	666	636
75%-percentiel	530	679	753	714	878	830
Maximum	1406	1423	1737	1513	1761	1726

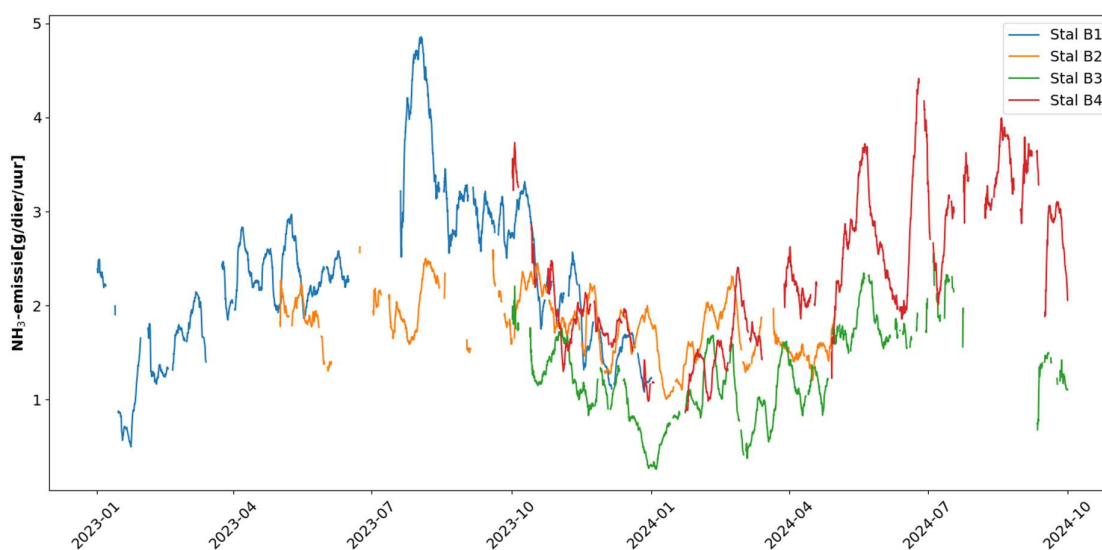
Tabel 29: Overzicht van de statistieken van de CO₂-concentraties (ppm) gemeten in en rond stal B4.

	ZW buiten	NO buiten	NO binnen	ZW binnen	Nok	VERA- leiding
Aantal uren	8782	8782	8782	8782	8782	8782
Aantal bruikbare uren	6882 (78%)	6379 (73%)	6874 (78%)	6882 (78%)	6876 (78%)	6878 (78%)
Gemiddeld	558	512	697	613	773	764
Standaardafwijking	209	64	238	261	259	265
Minimum	380	384	388	382	413	386
25%- percentiel	430	467	525	438	573	561
50%-percentiel (Mediaan)	465	501	625	478	695	670
75%-percentiel	600	544	793	701	926	917
Maximum	1541	1075	2024	1927	2048	2017

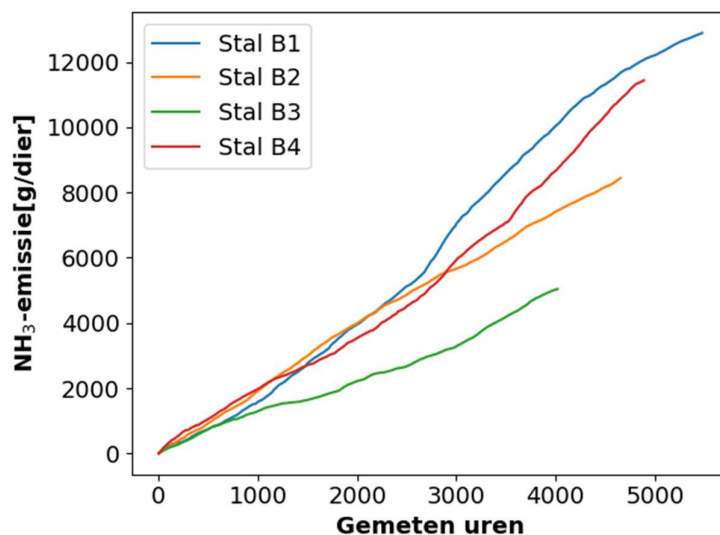
4.5 Ammoniakemissies

4.5.1 ILVO-metmethode

De NH₃-emissies gemeten volgens de ILVO-metmethode gedurende 1 jaar worden visueel voorgesteld voor elk van de vier melkveestallen in Figuur 35 en Figuur 36. Figuur 35 toont de tijdserie van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde van de NH₃-emissie per meetlocatie. Figuur 36 toont de cumulatieve NH₃-emissies per stallocatie. De samenvattende statistieken worden getoond in Tabel 30. De NH₃-emissies per stallocatie, bepaald op basis van de cumulatieve NH₃-emissies gevolgd door herschaling op jaarbasis, wordt getoond in Tabel 31.



Figuur 35: Tijdserie van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde van de NH₃-emissie per meetlocatie (g/dier/uur) bepaald volgens de ILVO-metmethode.



Figuur 36: Cumulatieve NH₃-emissie (g/dier) per meetlocatie.

Tabel 30: Samenvattende statistieken van de NH₃-emissiewaarden (g/dier/uur) bepaald volgens de ILVO-meetmethode voor de vier meetlocaties.

	B1	B2	B3	B4
Aantal uren	8758	8782	8782	8782
Aantal bruikbare uren	5479 (63%)	4654 (53%)	4021 (46%)	4891 (56%)
Gemiddelde	2,353	1,813	1,254	2,340
Standaardafwijking	1,251	0,682	0,834	1,278
Minimum	0,004	0,003	0,001	0,009
25%- percentiel	1,488	1,317	0,650	1,428
50%-percentiel (Mediaan)	2,174	1,741	1,139	2,120
75%-percentiel	2,954	2,224	1,752	3,064
Maximum	12,788	5,928	7,366	13,203

Tabel 31: Herschaalde cumulatieve NH₃-emissie (kg/dier/jaar) per meetlocatie, bepaald volgens de ILVO-meetmethode en gestandaardiseerd volgens Ogink et al. (2014).

	B1	B2	B3	B4
NH ₃ -emissiewaarden	20,61	15,89	10,98	20,49
Gestandaardiseerde NH ₃ -emissiewaarden	15,11	14,72	10,19	18,62
Gestandaardiseerde NH ₃ -emissiewaarden excl. bevulde vloeroppervlak	20,07	15,00	10,30	19,97

a. Gemiddelde ammoniakemissie

Op basis van de herschaalde cumulatieve ammoniakemissies wordt een gemiddelde ammoniakemissie van **16,99 ± 4,57 kg/dier/jaar** bekomen.

b. Variatie in ammoniakemissies binnen en tussen bedrijven

Het is opvallend hoe sterk de ammoniakemissie per stallocatie schommelt doorheen de tijd. De minimale ammoniakemissie was 0,001 g NH₃/dier/uur, de maximale 13,203 g NH₃/dier/uur. De grootste relatieve schommelingen werden vastgesteld bij stal B3, de standaarddeviatie loopt op deze locatie op tot 67% van de gemiddelde waarde. Stal B2 vertoonde de laagste variatie in NH₃-emissies doorheen de tijd (B1: 53%; B2: 38%; B3: 67%; B4: 55%).

Wanneer de volledige meetperiode in beschouwing wordt genomen, dan valt de grote variatie tussen bedrijven op. Stal B1 en stal B4 vertonen een gelijkaardige emissie. Stal B3 heeft een veel lagere emissie (ongeveer de helft van stal B1 en B4). De emissie van stal B2 ligt tussen beide extremen in.

c. Effect van ontbrekende data

Het aantal uren waarmee de emissiewaarden berekend zijn, schommelen tussen 46% en 63% van het totaal aantal beschikbare uren in de meetperiode (Tabel 30). De manier waarop de beschikbare uurlijkse NH₃-emissiewaarden verdeeld zijn doorheen een dag is te vinden in 7.4 Bijlage 4. Over het algemeen kan gezegd worden dat er geen verschil lijkt te zijn tussen dag en nacht wat beschikbare uren betreft en dat de verdeling over de dag relatief uniform is. Voor stal B2 en B3 is er een minimum rond de middaguren, terwijl in stal B4, er duidelijk een minimum is rond 9 uur. Deze minima hebben hoogstwaarschijnlijk te maken met het uur waarop de landbouwer de koeien voedert. Op deze momenten gaan de poorten open en wordt de ventilatiedata uit de dataset verwijderd, waardoor er op die momenten ook geen emissiewaarden kunnen berekend worden.

d. Standaardisatie

Wanneer de emissiewaarden gestandaardiseerd worden volgens de methode beschreven in Ogink et al. (2014), zijn de emissiewaarden voor alle stallen lager dan wat bekomen werd voor de niet-gestandaardiseerde emissies (Tabel 31). De daling in emissie is het grootste voor stal B1 (van 20,61 naar 15,11 kg NH₃/dier/jaar). Voor stal B2 is het verschil tussen de emissiewaarden met en zonder standaardisatie beperkt. Er zijn 81 uur voor stal B1 en 103 uur voor stal B2 die niet gestandaardiseerd konden worden wegens het ontbreken van melkureum-data.

Wanneer het gemiddelde van de herschaalde cumulatieve emissiewaarden per stal wordt berekend op de gestandaardiseerde uuremissies, wordt een waarde van 14,66 ± 3,46 kg NH₃/dier/jaar bekomen.

Indien men bij de standaardisatie geen rekening houdt met het bevuilde vloeroppervlak ligt de gemiddelde van de cumulatieve emissiewaarden op 16,33 ± 4,67 kg NH₃/dier/jaar, wat veel dichter aansluit bij de niet-gestandaardiseerde data. Het is bijgevolg vooral de standaardisatie voor het bevuilde oppervlak dat verantwoordelijk is voor de daling in emissie.

De vraag moet gesteld worden of het standaardiseren van de ammoniakemissiewaarden zal leiden tot een betere inschatting van de gemiddelde ammoniakemissie van een Vlaamse traditionele melkveestal. Om deze vraag positief te kunnen beantwoorden is het belangrijk (1) om zekerheid te hebben over de relatie tussen de parameters waarvoor werd gestandaardiseerd en de ammoniakemissie en (2) om zekerheid te hebben over de representatieve waarde voor deze parameters in Vlaanderen. Deze zekerheden kunnen op dit moment niet worden geboden. Het lijkt ons bijgevolg raadzaam om deze standaardisaties niet toe te passen.

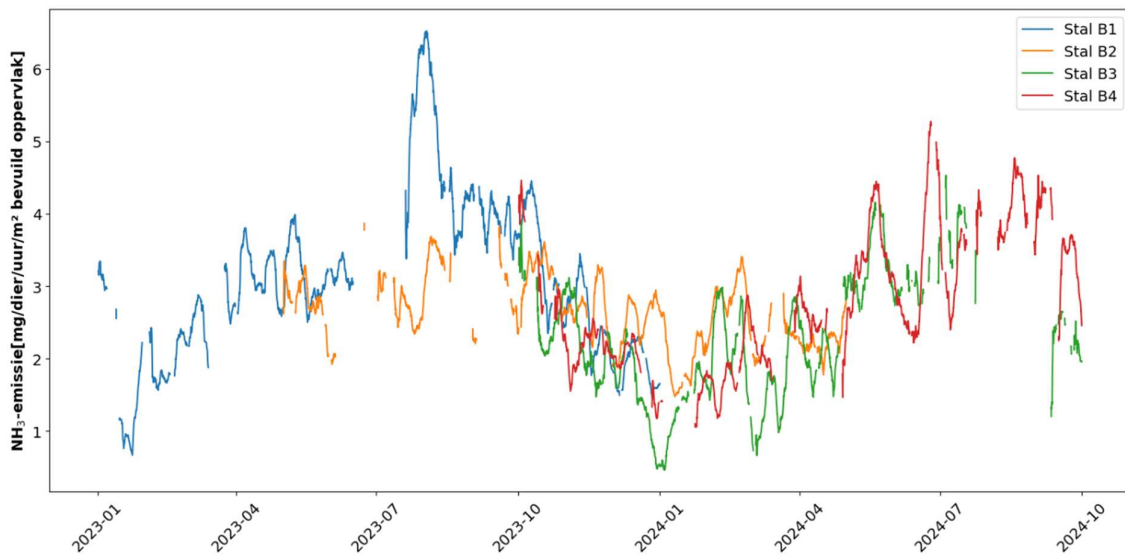
Tabel 32: Samenvattende tabel van het gemiddelde (\pm SD) van de herschaalde cumulatieve NH₃-emissiewaarden per meetlocatie (kg/dier/jaar) bepaald volgens de ILVO-meetmethode, met en zonder toepassing van standaardisatie.

	Gemiddelde van de herschaalde cumulatieve emissiewaarden
Niet gestandaardiseerde NH ₃ -emissiewaarden	16,99 \pm 4,57
Gestandaardiseerde NH ₃ -emissiewaarden	14,66 \pm 3,46
Gestandaardiseerde NH ₃ -emissiewaarden excl. bevuilde vloeroppervlak	16,33 \pm 4,67

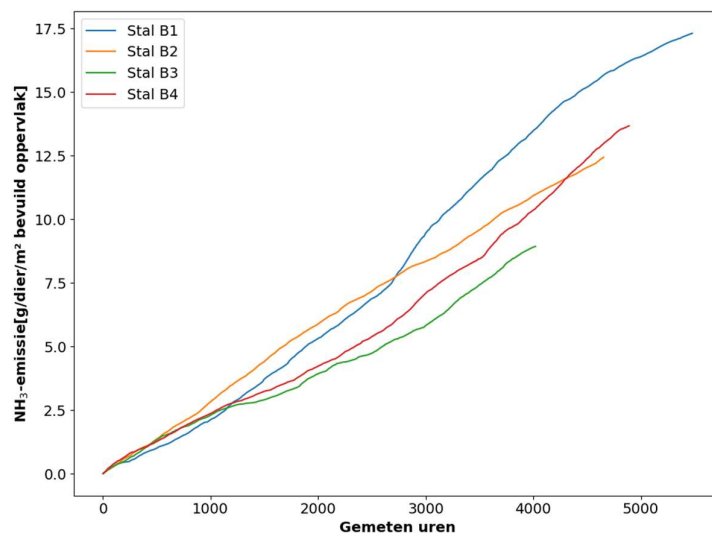
e. Ammoniakemissie uitgedrukt per eenheid bevuild oppervlak

Gezien een grote invloed kan verwacht worden van het bevuilde oppervlak in de stal op de ammoniakemissies, werden de ammoniakemissies bijkomend berekend per eenheid (m²) bevuild oppervlak. De NH₃-emissies gemeten volgens de ILVO-meetmethode gedurende 1 jaar en uitgedrukt per eenheid bevuild oppervlak worden visueel voorgesteld voor elk van de vier melkveestallen in Figuur 37 en Figuur 38. Figuur 37 toont de tijdserie van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde per meetlocatie. Figuur 38 toont de cumulatieve NH₃-emissies per stallocatie. De NH₃-emissies per stallocatie worden samengevat in Tabel 33.

Gemiddeld bedraagt de NH₃-emissie 23,76 \pm 3,39 g/dier/jaar/m² bevuild oppervlak. De tijdserie en de grafiek van de cumulatieve emissies tonen dat de verschillen tussen de stallocaties kleiner zijn dan wanneer de emissies niet uitgedrukt worden per eenheid bevuild oppervlak. Bovendien is de relatieve standaarddeviatie een stuk kleiner door rekening te houden met het bevuilde oppervlak in de stal, nl. 14% ten opzichte van 27%. **Dit kan een indicatie zijn dat een meer accurate inschatting kan gemaakt worden van de ammoniakemissie van een melkveestal als het bevuilde oppervlak in rekening wordt gebracht. Om dit met zekerheid te kunnen besluiten is een grotere steekproef noodzakelijk.**



Figuur 37: Tijdserie van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde van de NH₃-emissie per meetlocatie (mg/dier/uur/bevuild oppervlak) bepaald volgens de ILVO-meetmethode.



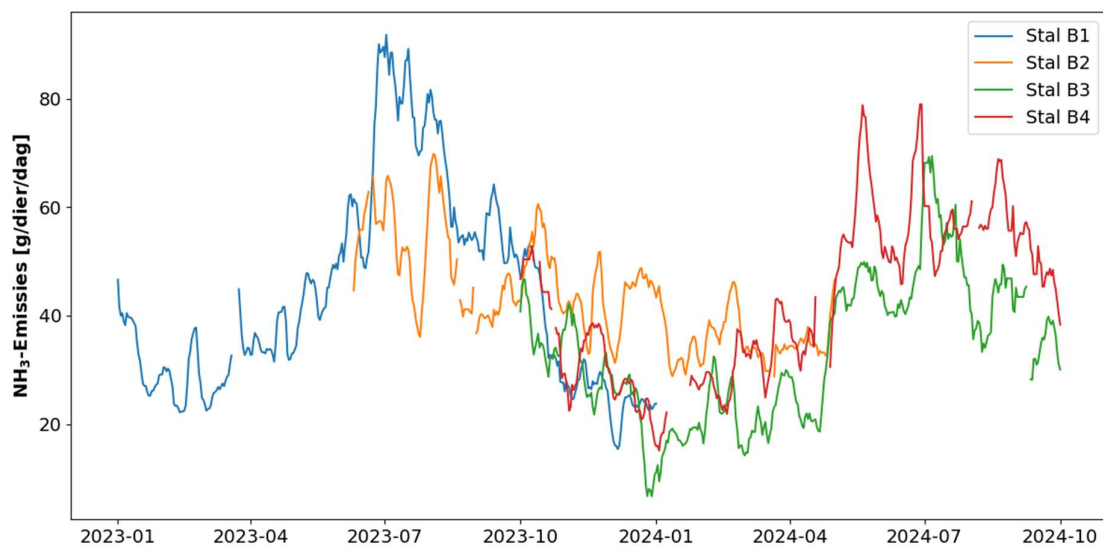
Figuur 38: Cumulatieve NH₃-emissie (g/dier/m² bevuild oppervlak) per meetlocatie.

Tabel 33: Herschaalde cumulatieve NH₃-emissiewaarden bepaald volgens de ILVO-meetmethode per meetlocatie uitgedrukt in g/dier/jaar/m² bevuild oppervlak.

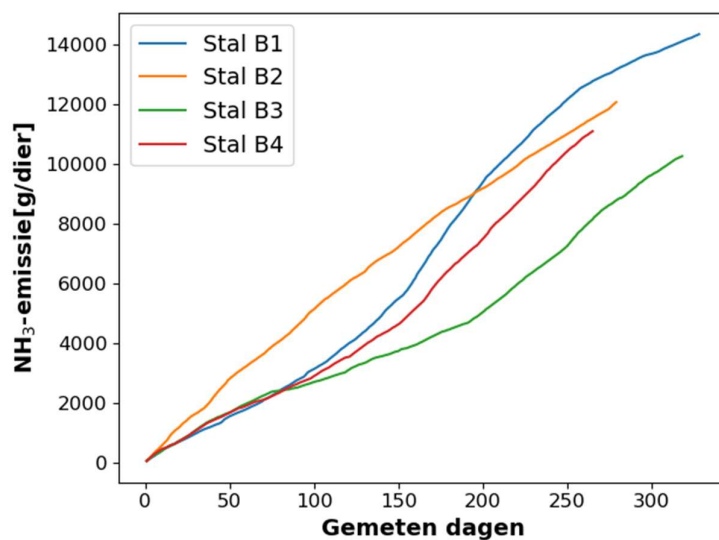
	B1	B2	B3	B4
Herschaalde cumulatieve NH₃-emissiewaarden	27,67	23,42	19,45	24,48

4.5.2 VERA-meetmethode

De NH₃-emissies gemeten volgens de VERA-meetmethode gedurende de meetperiode van 1 jaar worden visueel voorgesteld voor de vier melkveestallen in Figuur 39 en Figuur 40. Figuur 39 toont de tijdserie van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde van de NH₃-emissie per meetlocatie. Figuur 40 toont de cumulatieve NH₃-emissies per stallocatie. De samenvattende statistieken worden getoond in Tabel 34. De NH₃-emissies per stallocatie, bepaald op basis van de cumulatieve NH₃-emissies gevolgd door herschaling op jaarbasis, wordt getoond in Tabel 35.



Figuur 39: Tijdsree van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde van de NH₃-emissie per meetlocatie (g/dier/dag) bepaald volgens de VERA-meetmethode.



Figuur 40: Cumulatieve NH₃-emissie (g/dier) per meetlocatie.

Tabel 34: Samenvattende statistieken van de NH₃-emissiewaarden (g/dier/dag) bepaald volgens de VERA-meetmethode bij de vier meetlocaties gedurende de meetperiode.

	B1	B2	B3	B4
Aantal dagen	366	367	367	367
Bruikbare dagen	328 (90%)	279 (76%)	318 (87%)	265 (72%)
Gemiddeld	43,74	43,26	32,26	41,87
Standaardafwijking	20,47	11,67	14,14	16,31
Minimum	11,98	22,72	0,14	2,9
25%-percentiel	27,26	35,22	21,69	29,04
50%-percentiel (mediaan)	37,44	41,01	31,01	40,46
75%-percentiel	56,24	49,11	41,94	54,43
Maximum	123,12	88,99	82,41	99,01

Tabel 35: Herschaalde cumulatieve NH₃-emissie (kg/dier/jaar) per meetlocatie, bepaald volgens de VERA-meetmethode en gestandaardiseerd volgens Ogink et al. (2014).

	B1	B2	B3	B4
NH ₃ -emissiewaarden	15,97	15,79	11,77	15,28
Gestandaardiseerde NH ₃ -emissiewaarden	12,67	12,87	9,76	11,08
Gestandaardiseerde NH ₃ -emissiewaarden excl. bevulde vloeroppervlak	15,00	14,57	10,76	14,95

a. Gemiddelde ammoniakemissie

Op basis van de cumulatieve ammoniakemissies wordt een gemiddelde ammoniakemissie van **14,70 ± 1,97 kg/dier/jaar** bekomen.

b. Variatie in ammoniakemissies binnen en tussen bedrijven

Ook met de VERA-meetmethode zie je grote schommelingen in emissie van dag tot dag, al lijken deze schommelingen minder extreem dan gevonden met de ILVO-meetmethode. Bij de VERA-meetmethode worden emissiewaarden op dagbasis bepaald en niet op uur-basis zoals bij de ILVO-meetmethode, waardoor met de VERA-meetmethode pieken en dalen in de emissie worden uitgemiddeld per dag.

c. Effect van ontbrekende data

Per stal waren 72% tot 90% van de meetdagen bruikbaar voor de emissieberekeningen. In het VERA-protocol wordt eigenlijk gewerkt met 6 discontinue meetdagen verspreid over het meetjaar. Doordat hier continu gemeten is stijgt het aantal meetdagen aanzienlijk (265-328) waardoor de bekomen emissie nauwkeuriger zal zijn en beter zal aansluiten bij de werkelijke jaar-emissie.

d. Standaardisatie

Wanneer de emissiewaarden gestandaardiseerd werden volgens de methode beschreven in Ogink et al. (2014), variëren de cumulatieve emissiewaarden tussen 9,76 en 12,78 kg/dier/jaar (Tabel 35). Er zijn 6 dagen in stal B1 en 5 in B2 die niet gestandaardiseerd konden worden wegens het ontbreken van melkureum-data. Net als bij de ILVO-meetmethode, zijn de gestandaardiseerde emissiewaarden voor alle stallen lager dan de niet-gestandaardiseerde emissies.

Wanneer het gemiddelde van de cumulatieve emissiewaarden wordt berekend op de gestandaardiseerde dagemissies, wordt een waarde van 11,60 ± 1,46 kg NH₃/dier/jaar bekomen.

Indien men bij de standaardisatie geen rekening houdt met het bevulde vloeroppervlak ligt de emissie per stal tussen 10,76 en 15,00 kg/dier/jaar, wat veel dichter aansluit bij de niet-gestandaardiseerde data.

De vraag moet gesteld worden of het standaardiseren van de ammoniakemissiewaarden zal leiden tot een betere inschatting van de gemiddelde ammoniakemissie van een Vlaamse traditionele melkveestal. Om deze vraag positief te kunnen beantwoorden is het belangrijk (1) om zekerheid te hebben over de relatie tussen de parameters waarvoor werd gestandaardiseerd en de ammoniakemissie en (2) om zekerheid te hebben over de representatieve waarde voor deze parameters in Vlaanderen. **Deze zekerheden kunnen op dit moment niet worden geboden. Het lijkt ons bijgevolg raadzaam om deze standaardisaties niet toe te passen.**

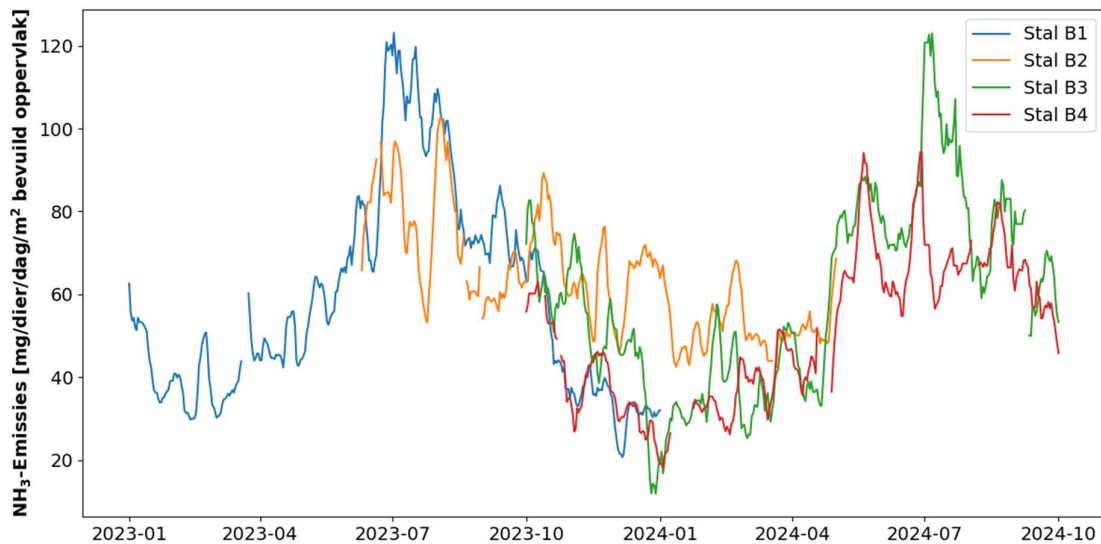
Tabel 36: Samenvattende tabel van het gemiddelde (\pm SD) van de herschaalde cumulatieve NH₃-emissiewaarden per meetlocatie (kg/dier/jaar) bepaald volgens de VERA-meetmethode, met en zonder toepassing van standaardisatie.

	Gemiddelde van de herschaalde cumulatieve emissiewaarden
Niet gestandaardiseerde NH ₃ -emissiewaarden	14,70 \pm 1,97
Gestandaardiseerde NH ₃ -emissiewaarden	11,60 \pm 1,46
Gestandaardiseerde NH ₃ -emissiewaarden excl. bevuilde vloeroppervlak	13,82 \pm 2,04

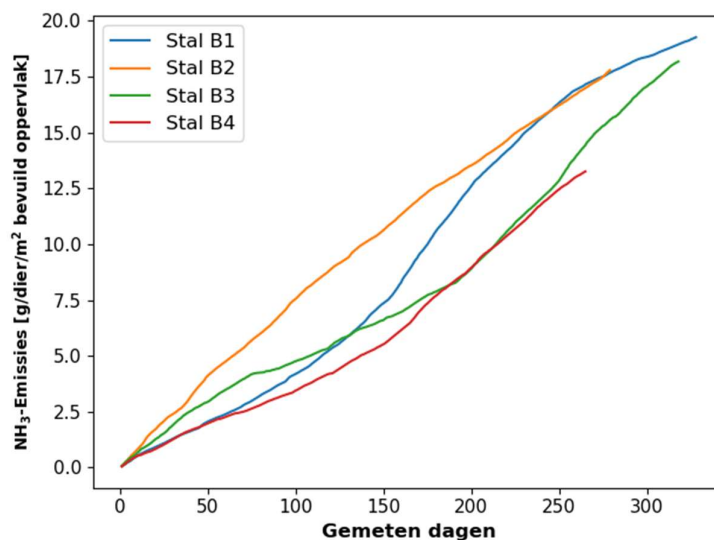
e. Ammoniakemissie uitgedrukt per eenheid bevuild oppervlak

Gezien een grote invloed kan verwacht worden van het bevuilde oppervlak in de stal op de ammoniakemissies, werden de ammoniakemissies bijkomend berekend per eenheid (m²) bevuild oppervlak. De NH₃-emissies gemeten volgens de VERA-meetmethode gedurende 1 jaar en uitgedrukt per eenheid bevuild oppervlak worden visueel voorgesteld voor elk van de vier melkveestallen in Figuur 41 en Figuur 42. Figuur 41 toont de tijdserie van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde per meetlocatie. Figuur 42 toont de cumulatieve NH₃-emissies per stallocatie. De NH₃-emissies per stallocatie worden samengevat in Tabel 37.

Gemiddeld bedraagt de NH₃-emissie 20,96 \pm 2,07 g/dier/jaar/m² bevuild oppervlak. De relatieve standaarddeviatie bedraagt 9,9%, dit is iets lager dan de relatieve standaarddeviatie wanneer de emissie niet uitgedrukt wordt per eenheid bevuild oppervlak (13,4%).



Figuur 41: Tijdserie van het 7-daags voortschrijdend gemiddelde van de NH₃-emissie per meetlocatie (mg/dier/dag/bevuild oppervlak) bepaald volgens de VERA-meetmethode.



Figuur 42: Cumulatieve NH₃-emissie (g/dier/m² bevuild oppervlak) per meetlocatie.

Tabel 37: Herschaalde cumulatieve NH₃-emissiewaarden bepaald volgens de VERA-meetmethode per meetlocatie uitgedrukt in g/dier/jaar/m² bevuild oppervlak.

	B1	B2	B3	B4
Herschaalde cumulatieve NH ₃ -emissiewaarden (g/dier/jaar/m ²)	21,43	23,27	20,86	18,26

4.5.3 Vergelijking ammoniakemissies bepaald met ILVO- en VERA-meetmethode

Om inzicht te verkrijgen in de verschillen tussen beide meetmethodes op vlak van berekende ammoniakemissies wordt het 7-daags voortschrijdend gemiddelde van de emissiewaarden bepaald met beide methodes per stallocatie getoond in Figuur 43. Bijkomend werden spreidingsplots gemaakt waarbij de daggemiddelde emissies bepaald met beide methodes ten opzichte van elkaar worden getoond (Figuur 44). Beiden grafieken tonen de niet-gestandaardiseerde data.

Belangrijk om hierbij op te merken is dat beide figuren enkel datapunten omvatten waarbij voor beide methodes gegevens beschikbaar zijn. Het is niet mogelijk om hieruit af te leiden of de ontbrekende data random verspreid zijn of zich eerder situeren in de lage of hoge emissiewaarden.

De overeenkomst tussen beide methodes is gemiddeld het beste voor stal B2 en stal B3. Voor stal B1 en B4 lijkt de VERA-methode over het algemeen te resulteren in een lagere emissie ten opzichte van de ILVO-methode. Het verschil lijkt ook te verhogen naarmate de emissies hoger liggen.

De verhoudingen tussen de meetlocaties liggen anders bij de twee methodes. Bij de ILVO-meetmethode vertonen stal B1 en stal B4 een gelijkaardige emissie. Stal B3 heeft een veel lagere emissie (ongeveer de helft van stal B1 en B4). De emissie van stal B2 ligt tussen beide extremen in. Bij de VERA-meetmethode hebben stal B1, B2 en B4 een gelijkaardige emissie. Stal B3 heeft een lagere emissie. **Een eenduidige verklaring voor de verschillen per meetlocatie kan momenteel niet gegeven worden.**

De gemiddelde emissie bepaald op basis van de emissies van de vier meetlocaties met beide meetmethoden wordt getoond in Tabel 38. De emissie bepaald met de VERA-methode ligt numeriek lager, maar het verschil is niet significant.

Tabel 38: Gemiddelde NH₃-emissie en relatieve SD bepaald met de ILVO- en VERA-meetmethode.

	kg/dier/jaar	g/dier/jaar/m ² bevuild oppervlak
ILVO-meetmethode	16,99 ± 4,57 (26,9%)	23,76 ± 3,39 (14,3%)
VERA-meetmethode	14,70 ± 1,97 (13,4%)	20,96 ± 2,07 (9,9%)

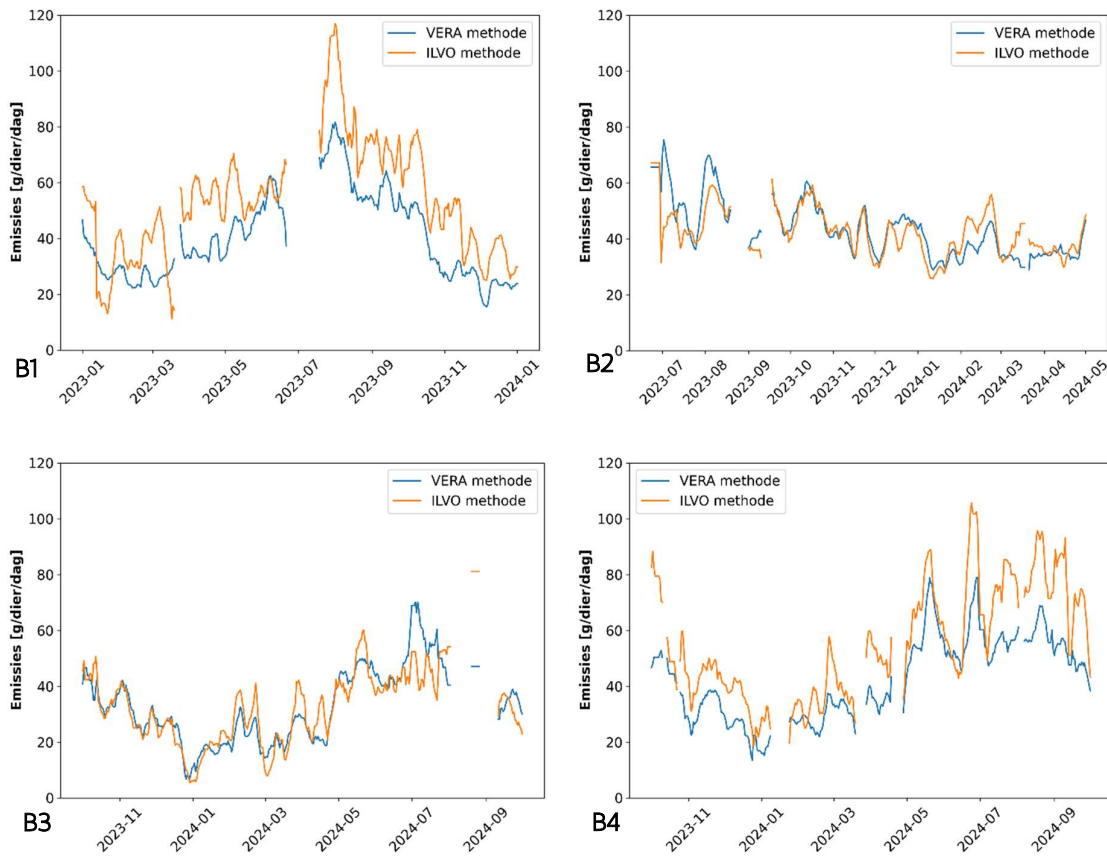
Beide meetmethodes hebben sterke en zwakke punten (Tabel 39). **Gezien de VERA-meetmethode eenvoudig toepasbaar en goedkoper is dan de ILVO-meetmethode lijkt de ontwikkeling van een hybride methode die aanleunt bij de VERA-meetmethode én geoptimaliseerd wordt, op basis van de inzichten opgedaan door toepassing van de ILVO-meetmethode, de meest aan te raden piste.**

Tabel 39: Overzicht sterke (+) en zwakke punten (-) van ILVO- en VERA-meetmethode.

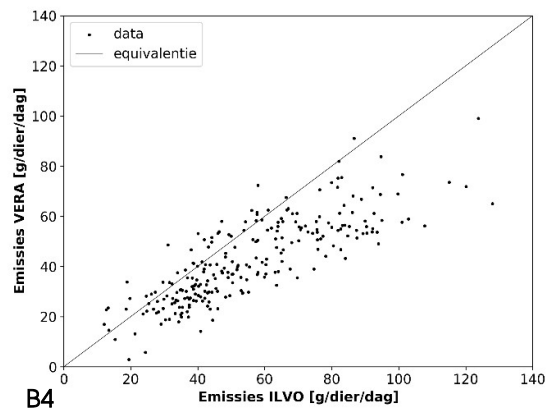
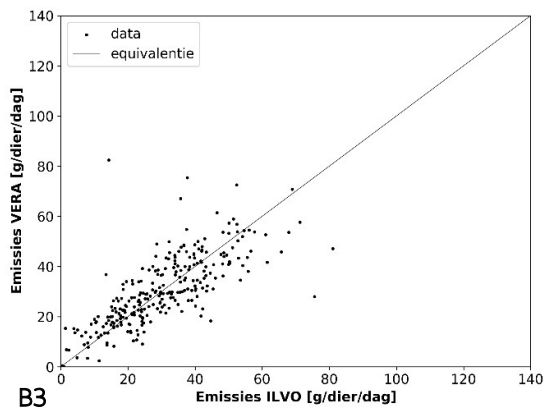
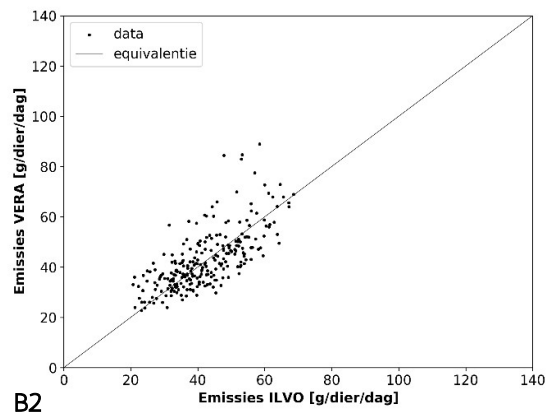
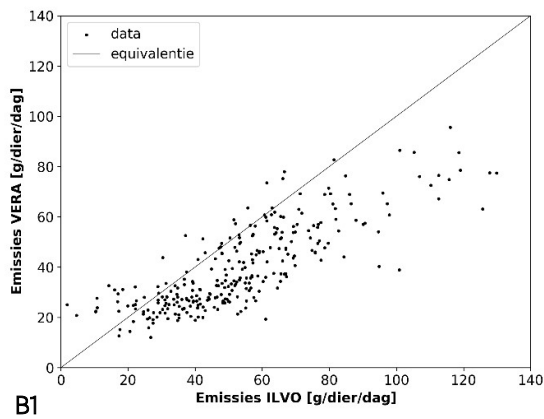
ILVO-meetmethode	VERA-meetmethode
+ Het ventilatiedebiet wordt bepaald op basis van luchtsnelheden	- De ventilatiedebieten worden berekend op basis van het verschil in CO ₂ in en rond de stal en de verwachte productie van CO ₂ door de aanwezige dieren. Het resultaat van de berekening wordt bepaald door een verschillende aannames die een invloed kunnen hebben op de accuraatheid.
+ Er is een kwaliteitscontrole mogelijk op de gemeten ventilatiedebieten door toepassing van de volumebalans.	- Er is geen kwaliteitscontrole mogelijk op de gemeten ventilatiedebieten.
+ Ventilatiedebieten worden gecombineerd met ammoniakconcentraties van ingaande en uitgaande lucht op hetzelfde moment.	- Er wordt een gemiddelde genomen van gasconcentraties in ingaande en uitgaande lucht gedurende een dag. Dit kan mogelijk leiden tot een lagere accuraatheid bij wisselende weersomstandigheden tijdens de dag.
+ Het is mogelijk om per uur een emissiewaarde te bepalen.	- Het is niet mogelijk om per uur een emissiewaarde te bepalen.
- Deze methode is enkel toepasbaar op stallen waarbij de ventilatiebalans sluitend kan gemaakt worden.	? vermoedelijk toepasbaar op meer stallocaties dan de ILVO-meetmethode
- De meetmethode is duur.	+ De meetmethode is goedkoop
- De meetmethode is complex op vlak van dataverwerking.	+ De meetmethode is eenvoudig toepasbaar

Een gedetailleerde analyse van de verzamelde dataset volgt de komende maanden. Deze analyse zal gebeuren in het kader van het project 'Meetprogramma methaan en ammoniak – ontwikkeling van meetmethoden stalemissies' gefinancierd door het Nederlandse Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur. Binnen dit project heeft Wageningen Livestock Research op dezelfde meetlocaties emissiemetingen uitgevoerd volgens de VERA-meetmethode. Naast een analyse van de verschillen tussen de ILVO- en de VERA-meetmethode zullen ook de verschillen in

de toepassing van de VERA-methode door ILVO en Wageningen Livestock Research onderzocht worden. Daarnaast worden binnenkort ook de resultaten verwacht van Nederlandse NAPRO-project waarbij de CIGR rekenregels vermoedelijk zullen wijzigen.



Figuur 43: Het 7-daagse voortschrijdend gemiddelde van de NH₃-emissiewaarden (g/dier/dag) bepaald volgens de ILVO- en VERA-metmethode per melkveestal over de meetperiode.



Figuur 44: Spreidingsplot van de daggemiddelde emissies bepaald volgens de ILVO- en VERA-meetmethode voor de vier meetlocaties.

5 Dankwoord

Deze meetcampagne was er eentje 'buiten categorie'.

Nog nooit eerder

- ... kwam een meetrapport tot stand met de hulp en inzet van zoveel collega's
- ... werden in Vlaanderen 4 stallen continue bemeten gedurende een duurtijd van 1 jaar
- ... werden zoveel sensoren en meettoestellen in één stal geplaatst
- ... werd zo een immense emissiedataset gegenereerd

In de eerste plaats willen we de melkveehouders bedanken om hun stallen ter beschikking te stellen. We willen hen oprecht bedanken voor het vertrouwen dat ze in ons hebben gesteld en voor de vele uren die ze gespendeerd hebben om onze vragen te beantwoorden.

De ILVO-metmethode is het resultaat van jarenlang onderzoek, waaronder twee doctoraten uitgevoerd onder leiding van collega Peter Demeyer. We wensen Gerlinde De Vogeleer, Philippe Van Overbeke en Peter Demeyer te bedanken voor het onderzoek dat aan deze studie is voorafgegaan.

We wensen ons team van technische medewerkers uitdrukkelijk te bedanken. Bedankt voor het vele harde werk van de voorbije jaren: de technische inzichten die zorgden voor optimalisaties van de meetmethoden, het automatiseren van de data-instroom van de vele sensoren die de verwerking gemakkelijker maakten, de vele ritten richting de stallen en de vaak lange werkdagen. Bedankt voor het excellente technische werk en jullie betrokkenheid. Jullie hebben fantastisch werk verricht!

Tot slot willen we het Beleidsdomein Omgeving, de opdrachtgever en financierder van deze meetcampagne, bedanken voor het vertrouwen dat ze in ILVO stellen.

De auteurs

Arnout, Kobe, Loes, Quinten, Tine, Chari & Eva

6 Referenties

CIGR. (2002). 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S. & Sällvik, K.), https://www.cigr.org/sites/default/files/documets/CIGR_4TH_WORK_GR.pdf

Coorevits, K.R.P., Declerck, A., Van Overbeke P., Janke, D., Vandenbussche, C., Norton, T., Demeyer P. & Brusselman E. (2025). Development of a direct measuring method for determining air flow rates in naturally ventilated dairy barns with ventilation screens. Submitted to Biosystems Engineering.

De Vogeleer, G., Pieters, J. G., Van Overbeke, P., & Demeyer, P. (2017). Effect of sampling density on the reliability of airflow rate measurements in a naturally ventilated animal mock-up building. *Energy and Buildings*, 152, 313-322, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877881631698X>

Mahieu, S. (2014). Evaluatie van de ruwvoederopnamevoorspelling bij melkvee volgens het ILVO-model. Masterproef Universiteit Gent, https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/166/370/RUG01-002166370_2014_0001-AC.pdf

Ogink, N.W.M., Groenestein, C.M. & Mosquera J. (2014). Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij. Rapport 744, <https://edepot.wur.nl/294436>

Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Joergensen, 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 Ejournal*, Vol. X, <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1205>

Van Overbeke, P., De Vogeleer, G., Mendes, L. B., Brusselman, E., Demeyer, P., & Pieters, J. G. (2016). Methodology for airflow rate measurements in a naturally ventilated mock-up animal building with side and ridge vents. *Building and Environment*, 105, 153-163, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132316301949?via%3Dihub>

VERA (2018). Test protocol for livestock housing and management systems. Version 3. https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA_Testprotocol_Housing_v3_2018.pdf

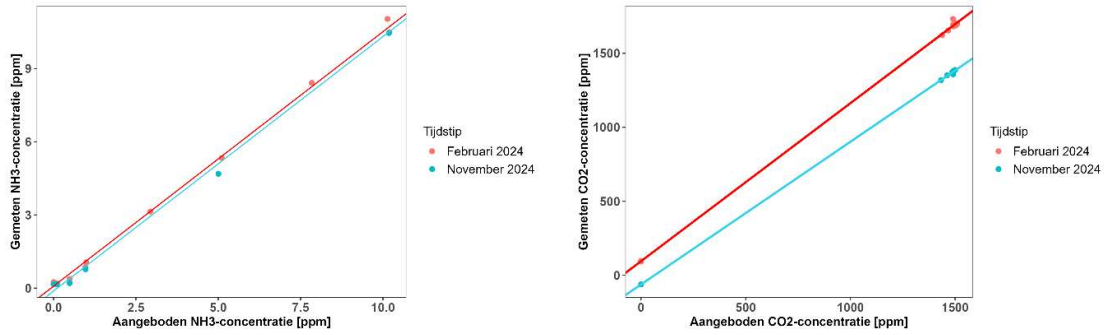
7 Bijlagen

7.1 Bijlage 1: Landbouwkundige randvoorwaarden zoals opgenomen in [Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen \(versie 2\)](#)¹⁴

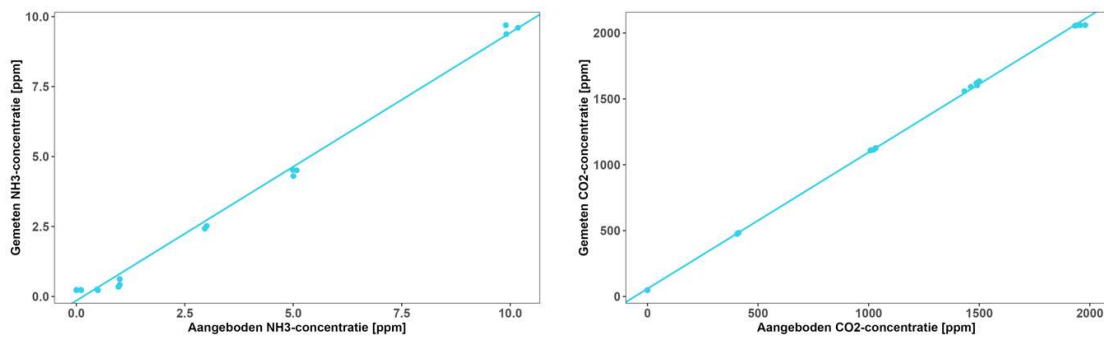
Landbouwkundige randvoorwaarden			
	Categorie: Melkveehouderij	Subcategorie: Melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar	Datum: November 2024
Huisvesting	<p>In de melkveestal waarin de metingen plaatsvinden kunnen naast de lacterende dieren tevens droogstaande melkkoeien en jongvee worden gehuisvest onder de hierna genoemde voorwaarden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Het aantal droogstaande dieren mag gedurende de metingen niet meer dan 20% van het aantal melkkoeien (droogstaand plus melkgevend) bedragen. - Jongvee dat groot genoeg is voor huisvesting in ligboxen voor volwassen dieren, mag eveneens in de melkveestal gehouden worden. Het aantal stuks jongvee mag gedurende de metingen niet meer dan 20% van het totale aantal melkkoeien (melkgevend en droogstaand) bedragen. <p>Op meetdagen mag het aantal in de stal aanwezige dieren (melkkoeien plus jongvee) niet meer dan 10% afwijken (zowel naar beneden als boven) van het aantal in de stal aanwezige ligboxen.. De melkgevende dieren worden in de meetstal gemolken. Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren (zie: https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217) in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 5. Houden van runderen voor productie". Voor iedere koe dient er een ligplaats te zijn.</p> <p>Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)</p>		
Klimaat	De koeien worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de stal op dierniveau onder de 2.000 ppm blijft		
Voeding	De drogestofopname moet voor minimaal 80% uit ruwvoer bestaan en minimaal 150 g RE/kg drogestof bevatten. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Productie	Voor een gangbaar bedrijf dient de gemiddelde melkgift minimaal 25 kg meetmelk/koe/dag te zijn. Voor een biologisch bedrijf dient de gemiddelde melkgift minimaal 18 kg meetmelk/koe/dag te zijn. Voor beide geldt dat het tankmelkureumgetal minimaal 15 mg/100 mL dient te zijn		
Gezondheid, inspectie en hygiëne	Er wordt voldaan aan de eisen in het Besluit houders van dieren in algemene zin en daarbinnen aan "Hoofdstuk 2. Houden van dieren voor landbouwdoeleinden" en "Paragraaf 5. Houden van runderen voor productie". De dieren op een gangbaar bedrijf krijgen standaard veterinaire zorg. Op een biologisch bedrijf worden de eisen van SKAL gevolgd (zie: https://www.skal.nl/certificeren/veehouderij)		
Aantal dieren	Het aantal melkgevende en droogstaande koeien dient minimaal 30 zijn, of 15 melkgevende in geval van een case-control onderzoeksopzet		
Registratie	<p><i>Tijdens de metingen en minimaal 4 weken voorafgaand aan de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rantsoensamenstelling (minimaal: DS %, RE totaal, VEM, DVE, OEB en EF-CH₄) van het TMR (total mixed ration) of de individuele voercomponenten van de lacterende koeien, droogstaande koeien, drachtig jongvee en niet-drachtig jongvee (indien aanwezig in de meetstal) - Ureumgetal van de melk (tankureumgetal) - Aantal melkkoeien, droogstaande koeien, drachtig jongvee en niet-drachtig jongvee op dagniveau <p><i>Tijdens de metingen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Mestpeil (cm; afstand kelderbodem - mestoppervlak) en aanwezige mestvolume (m³) in de mestkelder. Frequentie: maandelijks én voorafgaand aan en na afloop van het verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - Datum, tijdstip (start- en eindtijd) en methode van (drijf)mest mixen - Datum en tijdstip (start- en eindtijd) van verwijderen van (drijf)mest uit de mestkelder - CO₂-concentratie, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid in de stal - De wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen 		

¹⁴ [Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen \(versie 2\)](#)

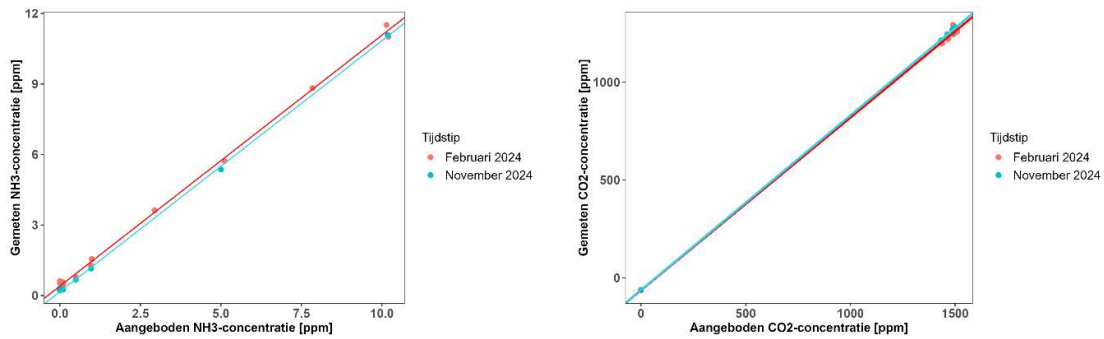
7.2 Bijlage 2: Kalibratiecurven van analyzers op basis van kalibratiemetingen bij VITO



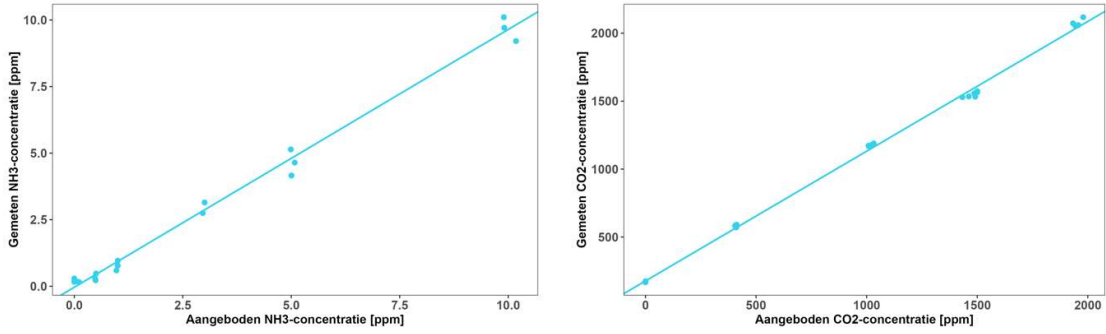
Figuur B1: Resultaten van de kalibratiemetingen bij VITO voor Axetris 4.



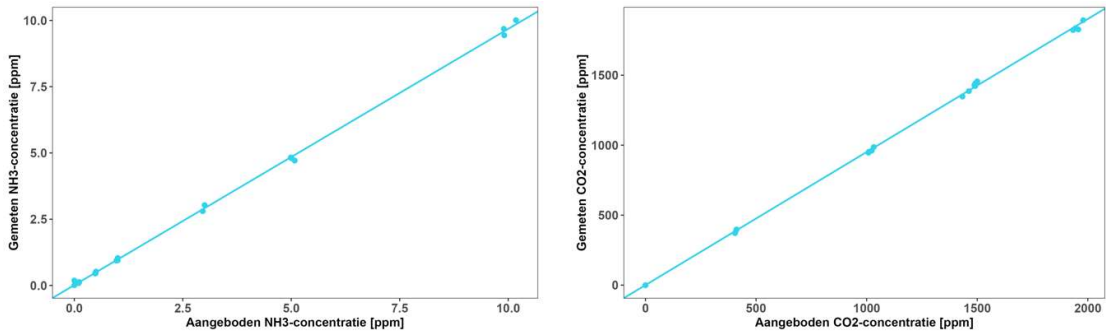
Figuur B2: Resultaten van de kalibratiemetingen bij VITO voor Axetris 1.



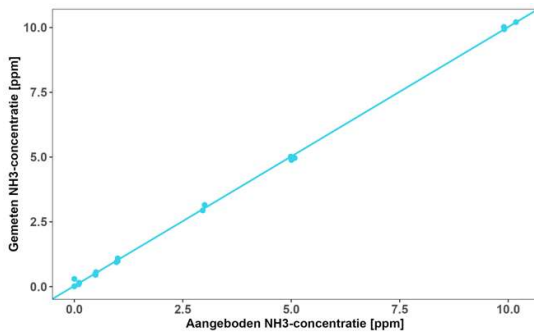
Figuur B3: Resultaten van de kalibratiemetingen bij VITO voor Axetris 2.



Figuur B4: Resultaten van de kalibratiemetingen bij VITO voor Axetris 3.



Figuur B5: Resultaten van de kalibratiemetingen bij VITO voor Picarro_G2508.

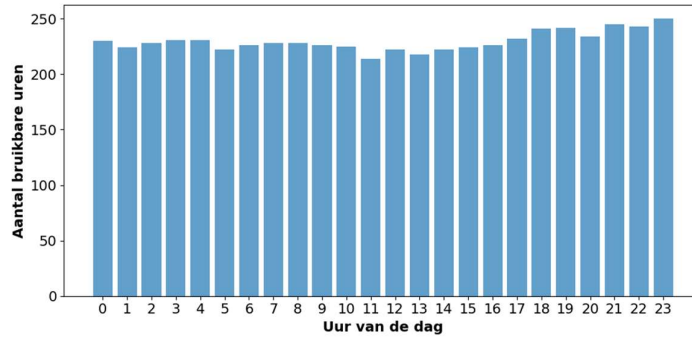


Figuur B6: Resultaten van de kalibratiemetingen bij VITO voor Picarro_G2301.

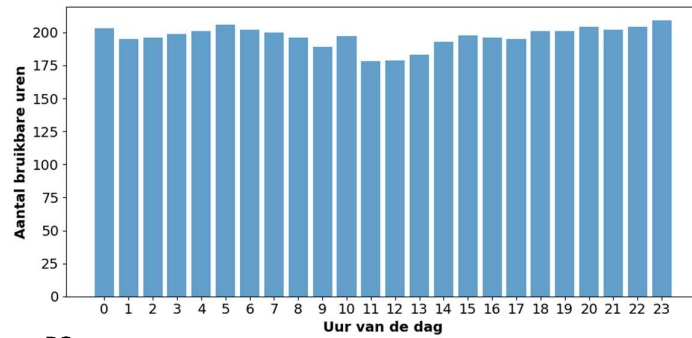
7.3 Bijlage 3: Overzicht ongebruikte data meetcampagne

Stal	Start	Stop	Probleem
B1	28/02/2023	28/02/2023	Validatie-metingen
	14/03/2023	23/03/2023	Defect membraan van een pomp
	14/07/2023	14/07/2023	Validatie-metingen
	23/10/2023	23/10/2023	Validatie-metingen
	6/12/2023	6/12/2023	Validatie-metingen
B2	1/05/2023	9/06/2023	Technisch probleem CO ₂ –sensor
	1/05/2023	9/06/2023	Lek VERA-leiding
	18/08/2023	20/08/2023	Technisch probleem CO ₂ –sensor
	25/08/2023	31/08/2023	Stroompanne
	7/09/2023	12/09/2023	Defect anemometer
	12/09/2023	12/09/2023	Validatie-metingen
	24/10/2023	24/10/2023	Validatie-metingen
	30/11/2023	30/11/2023	Validatie-metingen
	16/01/2024	16/01/2024	Validatie-metingen
	6/03/2024	6/03/2024	Validatie-metingen
19/03/2024	20/03/2024	Referentiemeting	
11/04/2024	11/04/2024	Validatie-metingen	
B3	4/10/2023	4/10/2023	Validatie-metingen
	24/11/2023	24/11/2023	Validatie-metingen
	11/12/2023	13/12/2023	Validatie-metingen
	22/01/2024	22/01/2024	Validatie-metingen
	20/01/2024	21/01/2024	Referentiemetingen
	28/02/2024	28/02/2024	Validatie-metingen
	12/04/2024	12/04/2024	Validatie-metingen
	22/05/2024	22/05/2024	Validatie-metingen
	12/06/2024	13/06/2024	Referentiemetingen
	25/06/2024	28/06/2024	Installatie uitzetten wegens warmte
2/07/2024	3/07/2024	Kalibratie in labo	
21/08/2024	22/08/2024	Referentiemetingen	
B4	12/10/2023	12/10/2023	Validatie-metingen
	17/10/2023	24/10/2023	Axetris weggehaald
	22/11/2023	22/11/2023	Validatie-metingen
	12/12/2023	13/12/2023	Referentiemetingen
	3/01/2024	23/01/2024	Defect buitenleiding NO
	20/02/2024	21/02/2024	Referentiemetingen
	5/03/2024	5/03/2024	Validatie-metingen
	14/03/2024	27/03/2024	Defect orifice in nokleiding
	15/04/2024	15/04/2024	Validatie-metingen
	19/04/2024	24/04/2024	Defect pompen
	12/06/2024	12/06/2024	Referentiemetingen
	25/06/2024	28/06/2024	Installatie uit door de warmte
	2/07/2024	3/07/2024	Kalibratie in labo
28/07/2024	6/08/2024	Defect pomp Axetris	
30/07/2024	30/07/2024	Validatie-metingen	
21/08/2024	22/08/2024	Referentiemetingen	
12/09/2024	12/09/2024	Validatie-metingen	

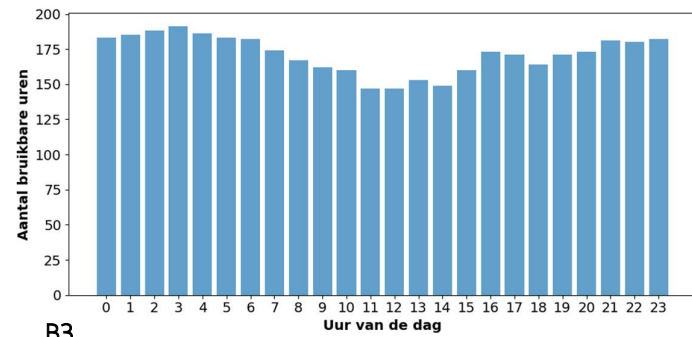
7.4 Bijlage 4: Distributie van het aantal beschikbare uren over een dag per meetlocatie gebruikt voor de berekening van de NH₃-emissiewaarden volgens de ILVO-meetmethode



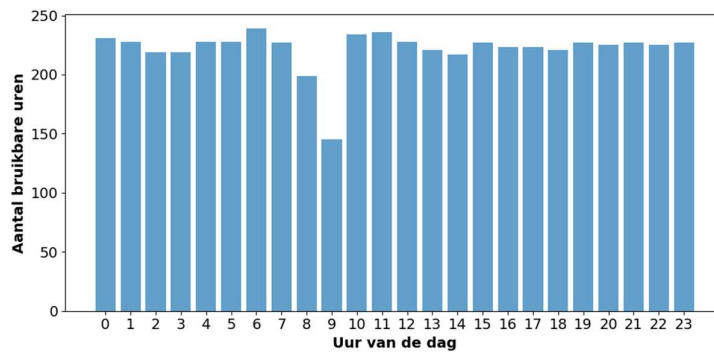
B1



B2



B3



B4

Contact

Eva Brusselman
Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek ILVO
Burg. Van Gansberghelaan 115, bus 1
9820 Merelbeke-Melle
T +32 475 59 28 48
eva.brusselman@ilvo.vlaanderen.be

ILVO

Aansprakelijkheidsbeperking

Deze publicatie werd door ILVO met de meeste zorg en nauwkeurigheid opgesteld. Er wordt evenwel geen enkele garantie gegeven omtrent de juistheid of de volledigheid van de informatie in deze publicatie. De gebruiker van deze publicatie ziet af van elke klacht tegen ILVO of zijn ambtenaren, van welke aard ook, met betrekking tot het gebruik van de via deze publicatie beschikbaar gestelde informatie.

In geen geval zal ILVO of zijn ambtenaren aansprakelijk gesteld kunnen worden voor eventuele nadelige gevolgen die voortvloeien uit het gebruik van de via deze publicatie beschikbaar gestelde informatie.

The logo for ILVO, consisting of the letters 'ILVO' in a bold, green, sans-serif font. The letters are closely spaced and have a slight shadow effect.

Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek
Burg. Van Gansberghelaan 92
9820 Merelbeke-Melle - België

T +32 9 272 25 00
ilvo@ilvo.vlaanderen.be
www.ilvo.vlaanderen.be