Vlaanderen
is landbouw & zeevisserij

ILVO Mededeling D/2026/05
September 2026

Vergelijking van meetmethoden om emissies uit natuurlijk geventileerde melkveestallen te bepalen

ILVO
Instituut voor Landbouw-,
Visserij- en Voedingsonderzoek

www.ilvo.vlaanderen.be

Opdrachtgever

Ministerie Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN)

Partners

Vergelijking van meetmethoden om emissies uit natuurlijk geventileerde melkveestallen te bepalen

ILVO MEDEDELING D/2026/05

September 2026

ISSN 1784-3197

Wettelijk Depot: D/2026/10.970/05

Auteurs

Declerck Arnout

Peeters Quinten

Coorevits Kobe

Bronsveld Paula

Mosquera Julio

Inhoudsopgave

1 Samenvatting 2

2 Inleiding 5

3 Materiaal en methoden 7

3.1 Meetlocaties 7

3.2 Meetperiode 9

3.3 Overzicht gebruikte meettoestellen 9

3.4 Verschillen tussen meetmethodes 14

3.5 Dataverwerking 18

4 Resultaten en discussie 19

4.1 Gasconcentraties 19

4.1.1 SRM-concentratiemetingen 19

4.1.2 Stalconcentratiemetingen op de TGR-leiding 20

4.1.3 Ingaande luchtconcentraties 22

4.1.4 Concentratieverschil (stal- ingaande luchtconcentraties) 23

4.2 Ventilatiedebiet 25

4.2.1 Indirecte tracergas ratiomethode ILVO ($V^{ILVO,TGR}$) versus Indirecte tracergas ratiomethode WLR ($V^{WLR,TGR}$) 25

4.2.2 Directe methode ILVO ($V^{ILVO,direct}$) versus Indirecte tracergas ratiomethode ILVO ($V^{ILVO,TGR}$) 26

4.3 NH_3- en CH_4-emissies 27

4.3.1 Vergelijking indirecte TGR-methoden ILVO ($E^{ILVO,TGR}$) versus WLR ($E^{WLR,TGR}$) 27

4.3.2 Directe methode ILVO ($E^{ILVO,direct}$) versus indirecte TGR-methode ILVO ($E^{ILVO,TGR}$) 28

4.3.3 Directe methode ILVO ($E^{ILVO,direct}$) versus Remote sensing TNO ($E^{TNO,remote}$) 28

5 Conclusies en aanbevelingen 31

Literatuur 34

1 Samenvatting

Nederlands

In het kader van het meetprogramma “Methaan en ammoniak – ontwikkeling meetmethoden stalemissies” dat gefinancierd werd door het Ministerie LVVN werd in de periode 2022–2024 door ILVO, WLR en TNO een meetcampagne uitgevoerd op vier natuurlijk geventileerde Vlaamse ligboxenstallen. Centraal in het onderzoek stond de vraag in welke mate de door ILVO, WLR en TNO toegepaste meetmethoden voor het bepalen van emissies vergelijkbare resultaten opleveren. Dit rapport beschrijft de resultaten van gelijktijdige metingen die zijn uitgevoerd om de verschillen tussen methoden (voor concentratie-, debiet- en emissiemetingen) te bepalen en verklaren waar mogelijk.

De analyse van de concentraties toont aan dat vooral voor ammoniak duidelijke verschillen optreden tussen de meetinstellingen. De door WLR gemeten NH_3-stalluchtconcentraties lagen over het algemeen hoger dan die van ILVO. Deze afwijking kan grotendeels worden toegeschreven aan verschillen in kalibratiestrategie, standaard referentiemethode (SRM), en de positionering van monsternamepunten. Voor de CO_2- en CH_4-concentraties in de stallucht waren de verschillen minder uitgesproken. Hier werden wel afwijkingen vastgesteld door sensordrift of stal specifieke omstandigheden. Ook bij de ingaande lucht werden substantiële verschillen waargenomen: WLR registreerde gemiddeld lagere concentraties dan ILVO, wat onder meer samenhangt met de toegepaste monsternamestrategieën. Verschillen kunnen bijvoorbeeld het gevolg zijn van de monsternamelocaties, continue versus discrete metingen of mogelijke beïnvloeding door omliggende emissiebronnen.

Bij de vergelijking van ventilatiedebieten bleek dat de bepalingen volgens de indirecte tracergas ratiomethode (TGR) van ILVO en WLR onderling goed overeenkomen. De TGR-debieten gemeten door ILVO liggen echter systematisch lager dan de debieten gemeten met de directe ILVO-methode; gemiddeld bedroeg dit verschil ongeveer 30%. Een belangrijk deel hiervan wordt toegeschreven aan een onderschatting van de CO_2-productie in het gehanteerde CIGR-model, wat rechtstreeks leidt tot lagere berekende ventilatiedebieten in de TGR-aanpak. Daarnaast speelden verschillen in tijdschaal (dag-metingen voor de TGR versus uur-metingen voor de directe methode), dataselectie en nauwkeurigheid van inputgegevens voor het model een rol.

De indirect bepaalde NH_3-emissies van WLR liggen voor alle stallen boven die van ILVO, voornamelijk door grotere NH_3-concentratieverschillen tussen stal en buitenlucht bij WLR. Voor methaan is het beeld minder uniform en varieert de verhouding tussen methoden per locatie. De vergelijking tussen de directe en indirecte methode van ILVO levert eveneens locatieafhankelijke resultaten op: sommige stallen vertoonden een goede overeenkomst, terwijl andere systematisch hogere emissies vertoonden bij de directe methode. Voor deze variatie kon binnen de reikwijdte van dit onderzoek geen eenduidige oorzaak vastgesteld worden.

De remote sensing metingen van TNO lieten aanvankelijk hogere emissiewaarden zien dan de directe emissiemetingen van ILVO. Nader onderzoek heeft echter aangetoond dat deze overschatting grotendeels werd veroorzaakt doordat bij de analyse van de volledige emissiepluim ook bijdragen van omliggende emissiebronnen werden meegenomen. Door gebruik te maken van de gemeten concentraties van de tegelijkertijd uitgestoten tracer kon een betere selectie van de bijdrage van de bemeten stal worden gemaakt. Met deze aangepaste analyse kwamen de mobiele emissieschattingen voor methaan en ammoniak aanzienlijk beter overeen met de referentiewaarden van ILVO. De resultaten laten zien dat de tracer niet alleen gebruikt kan worden voor emissieberekeningen, maar ook kan helpen om individuele bronbijdragen te onderscheiden in complexe situaties met meerdere emissiebronnen.

De studie benadrukt dat keuzes in kalibratie, uitvoering van de standaard referentiemethode, monsternamestrategie en modelgebruik een grote invloed hebben op de uiteindelijke emissieresultaten. Standaardisatie en transparantie zijn daarom essentieel om de vergelijkbaarheid van metingen te verbeteren. Er wordt onder meer aanbevolen om kalibratie- en kwaliteitsprocedures beter op elkaar af te stemmen, de standaardreferentiemethoden voor ammoniak te harmoniseren, de rol van continue metingen van ingaande lucht verder te onderzoeken, en de toepassing van minimale CO_2-verschillen in de TGR-methode te standaardiseren. Ten slotte vergt de remote sensing methode verdere ontwikkeling om betrouwbaar bronnen te kunnen onderscheiden in omgevingen met meerdere emissiebronnen.

English

As part of the measurement programme ‘Methane and Ammonia – Development of Measurement Methods for Livestock Emissions’ and on behalf of the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (LVVN), ILVO, WLR and TNO carried out a measurement campaign at four natural ventilated Flemish cubicle barns between 2022 and 2024. The central question of the research was to what extent the measurement methods, used by ILVO, WLR and TNO to determine emissions, yield comparable results. This report describes the results of simultaneous measurements carried out to determine the differences between methods (for concentration, flow rate and emission measurements) and to explain them where possible.

Analysis of the concentrations show that clear differences occur between the measuring institutions, particularly for ammonia. The NH_3 concentrations in the barn air measured by WLR were generally higher than those measured by ILVO. This deviation can largely be attributed to differences in calibration strategy, standard reference method (SRM), and the positioning of sampling points. For CO_2 and CH_4 concentrations in the barn air, the differences were less pronounced. However, deviations were still observed due to sensor drift or barn-specific conditions. Substantial differences were also observed in the inlet air: WLR recorded

lower average concentrations than ILVO, which is partly related to the sampling strategies employed. Differences may, for example, be due to sampling locations, continuous versus discrete measurements, or potential interference from surrounding emission sources.

When comparing ventilation rates, it was found that the measurements obtained using the indirect tracer gas ratio (TGR) method by ILVO and WLR were in good agreement with each other. However, the TGR flow rates measured by ILVO are systematically lower than those measured using the direct ILVO method; on average, this difference was approximately 30%. A significant portion of this difference is attributed to an underestimation of the CO_2 production in the CIGR model used. This directly leads to lower calculated ventilation flow rates in the TGR approach. In addition, differences in time scale (daily measurements for the TGR versus hourly measurements for the direct method), data selection and the accuracy of input data for the model played a role.

The indirectly determined NH_3 emissions from WLR are higher than those from ILVO for all barns, mainly due to greater differences in NH_3 concentration between the barn and the outside air determined by WLR. For methane, the picture is less uniform and the ratio between methods varies by location. The comparison between ILVO's direct and indirect methods also yields location-dependent results: some barns showed good agreement, whilst others exhibited systematically higher emissions using the direct method. No clear cause for this variation could be identified within the scope of this study.

TNO's remote sensing measurements initially showed higher emission values than ILVO's direct emission measurements. However, further investigation has shown that this overestimation was largely caused by the inclusion of contributions from surrounding emission sources in the analysis of the entire emission plume. By using the measured concentrations of the simultaneously emitted tracer, a better selection of the contribution from the measured barn could be made. With this adjusted analysis, the mobile emission estimates for methane and ammonia corresponded significantly better with ILVO's reference values. The results show that the tracer can not only be used for emission calculations but can also help distinguish individual source contributions in complex situations with multiple emission sources.

The study emphasises that choices regarding calibration, implementation of the standard reference method, sampling strategy and model use have a major influence on the final emission results. Standardisation and transparency are therefore essential to improve the comparability of measurements. Recommendations include better aligning calibration and quality procedures, harmonising the standard reference methods for ammonia, further investigating the role of continuous measurements of inlet air, and standardising the application of minimum CO_2 differences in the TGR method. Finally, the remote sensing method requires further development to reliably distinguish sources in environments with multiple emission sources.

2 Inleiding

Afgelopen decennia is de veehouderij sterk veranderd. Innovatieve maatregelen om emissiereductie te realiseren en nieuwe huisvestingsconcepten voor een beter dierenwelzijn zijn geïntroduceerd. Denk bijvoorbeeld voor melkvee aan serrestallen, het beschikbaar stellen van een grotere loopoppervlakte per dier, of een toename van de ventilatiecapaciteit (grotere ventilatieopeningen) en stalinhoud. De verwachting is dat deze toename van nieuwe concepten zich de komende jaren zal doorzetten. Deze moderne en innovatieve stalconcepten brengen nieuwe uitdagingen met zich mee voor het bepalen van de emissies van veehouderijen. De laatste jaren wordt er daarom veel aandacht besteed aan onderzoek en ontwikkeling voor het betrouwbaar bemeten van emissies uit natuurlijk geventileerde stallen.

Met dit uitgangspunt zetten de onderzoekspartijen Wageningen Livestock Research (WLR), ILVO (Vlaanderen) en TNO een meerjarig meetprogramma op gefinancierd door het Nederlandse Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN). Een van de doelen van dit meetprogramma was om, op basis van gelijktijdige metingen, verschillende meetmethoden voor het meten van de emissies van ammoniak en methaan uit natuurlijk geventileerde melkveestallen met elkaar te vergelijken. De resultaten van de door ILVO, WLR en TNO uitgevoerde emissiemetingen worden afzonderlijk gerapporteerd (Declerck e.a., 2025; Declerck e.a., 2026; Mosquera e.a., 2026; Bronsveld e.a., 2026). Dit huidig rapport focust zich op de vergelijking van de meetmethoden. Aanvullend doel van het meetprogramma was om de resultaten en verworven kennis (waaronder van dit rapport) door te laten stromen naar het verder ontwikkelen van meetrichtlijnen (Winkel e.a., 2024).

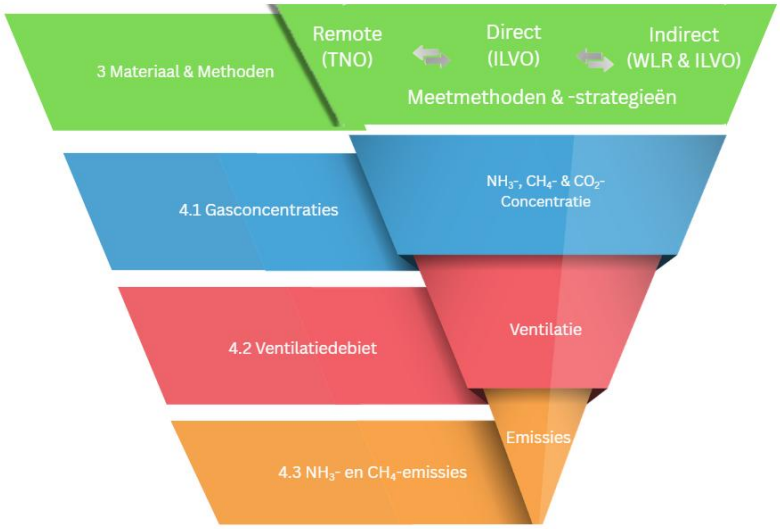
Voor de vergelijking van meetmethoden is ervoor gekozen om aan de drie partners (ILVO, WLR, TNO) te vragen om hun meetmethode op vier melkveestallen verspreid in Vlaanderen toe te passen. Voor ILVO resulteerde dit in de toepassing van zowel een directe meetmethode (waarbij het ventilatiedebiet wordt bepaald uit directe metingen van de windsnelheid met anemometers) als de indirecte tracergas ratiomethode (TGR) zoals beschreven in VERA (VERA, 2018). WLR maakte gebruik van dezelfde TGR-methode om de emissies te bepalen. TNO kwam enkele dagen tijdens de meetcampagne metingen uitvoeren op drie van de vier stallen, waar gebruik werd gemaakt van remote meettechnieken.

In dit rapport werden de methoden in verschillende stappen met elkaar vergeleken. Bij de eerste stap (het vergelijken van de CO_2-, NH_3- en CH_4-concentraties in de uitgaande stallucht en in de ingaande (buiten)lucht) lag de focus op de door ILVO en WLR gebruikte monsternamemethoden, meetinstrumenten en kalibratiemethoden. In de tweede stap werd de bepaling van het ventilatiedebiet vergeleken voor de directe methode (alleen door ILVO toegepast) en de indirecte TGR-methode (door zowel ILVO als WLR toegepast). Aanvullend zijn de emissies die bepaald zijn met de directe methode op enkele dagen tijdens de meetcampagne vergeleken met de emissies die door TNO bepaald zijn met de remote meettechniek.

Leeswijzer

Hoofdstuk 3 beschrijft de meetlocaties, meetmethoden en meetinstrumenten die door ILVO/WLR/TNO toegepast zijn om de concentraties/ventilatiedebiet/emissies te bepalen (Figuur 2.1). In Hoofdstuk 4 worden de resultaten uit dit onderzoek weergegeven en bediscussieerd. Aangezien emissies (Hoofdstuk 4.3) een afgeleide zijn van het ventilatiedebiet en concentratiemetingen ligt het zwaartepunt van dit rapport bij de concentratiemetingen (vergelijking methoden ILVO en WLR) in Hoofdstuk 4.1, en bij het ventilatiedebiet (vergelijking directe methode en indirecte ILVO-methoden) in Hoofdstuk 4.2. De belangrijkste conclusies en aanbevelingen worden in Hoofdstuk 5 samengevat.

Extra toelichting en uitgebreidere figuren over het verloop van concentraties, ventilatiedebiet en emissies zijn terug te vinden in Uitbreiding C, Uitbreiding D en Uitbreiding E respectievelijk.



Figuur 2.1: Schematische weergave van de inhoud van het rapport.

3 Materiaal en methoden

De meetcampagne werd gefinancierd door het Nederlands Ministerie LVVN in het kader van het Meetprogramma *Methaan en ammoniak – ontwikkeling meetmethoden stalemissies* en het Vlaams Beleidsdomein Omgeving in het kader van de bepaling van de ammoniakemissies uit traditionele Vlaamse melkveestallen. Dit rapport focus zich op de vergelijking van meetmethoden om de emissies van ammoniak en methaan uit natuurlijk geventileerde melkveestallen te bepalen. Dit meetprogramma resulteerde in een aantal rapporten. Een overzicht hiervan, alsook hun relevante inhoud voor deze studie (de materialen en methodes die toegepast werden om deze resultaten te behalen), wordt getoond in Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Overzicht van eerder gepubliceerde resultaten waarop deze studie verder werkt.

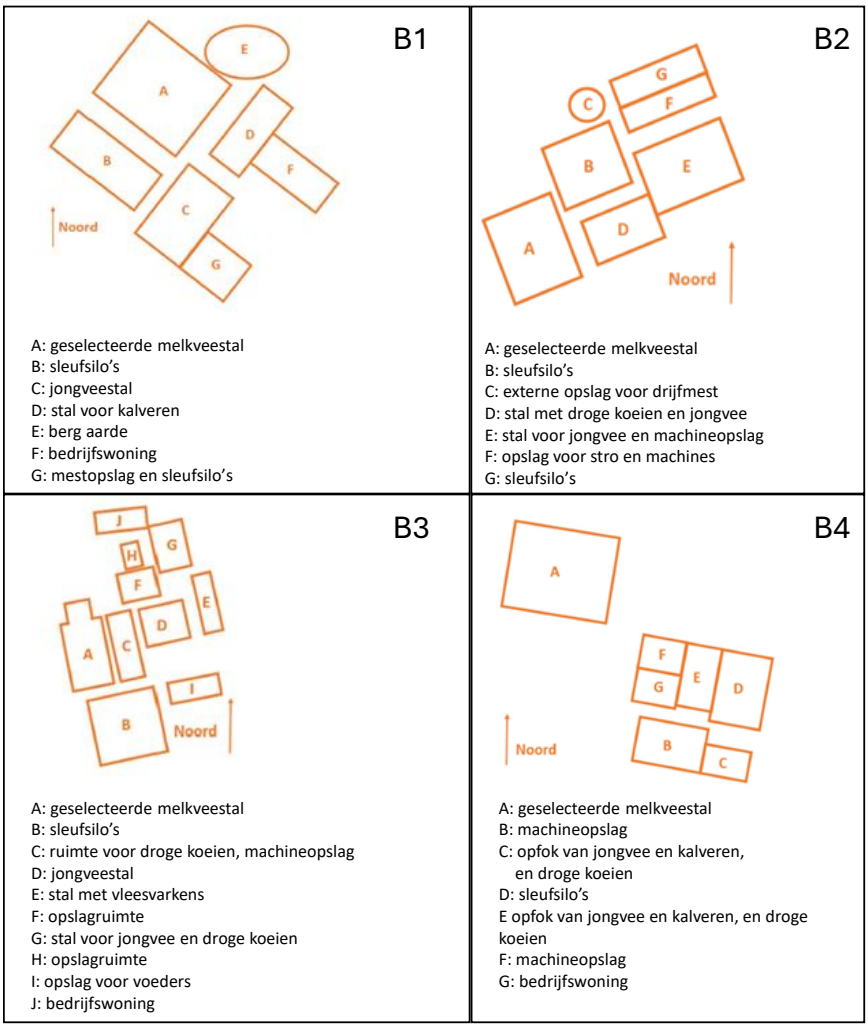
Referentie studie	Titel studie	Uitvoerders	Relevante inhoud voor deze studie
Declerck e.a. (2025)	Meetcampagne voor de bepaling van de **ammoniak**emissies van een traditionele melkveestal	ILVO	- beschrijving melkveestallen en hun omgeving - meteorologische data - landbouwkundige randvoorwaarden - gehanteerde meetstrategie en meetmethodes - ammoniakconcentraties - ventilatiedebieten - ammoniakemissies - kwaliteitscontroles
Declerck e.a. (2026)	Meetcampagne voor de bepaling van de **methaan**emissies van een traditionele melkveestal (publicatie verwacht in 2026)	ILVO	- gehanteerde meetstrategie en meetmethodes - methaanconcentraties - methaanemissies - kwaliteitscontroles
Mosquera e.a. (2026)	**Ammoniak**- en **methaan**emissie uit vier gangbare ligboxenstallen voor melkvee in Vlaanderen	WLR	- meteorologische data - landbouwkundige randvoorwaarden - gehanteerde meetstrategie en meetmethodes - ammoniakconcentraties - methaanconcentraties - ventilatiedebieten - ammoniakemissies - methaanemissies - kwaliteitscontroles
Bronsveld e.a. (2026)	Mobiele metingen van **methaan en ammoniak** uit melkveestallen (publicatie verwacht later in 2026)	TNO	- Ontwikkeling remote metingen bij Nederlandse bedrijven. - Gemeten concentraties van methaan en ammoniak en daaruit afgeleide emissies. - Meetcampagne verticale pluimverspreiding en aansluiting bij mobiele meting.

3.1 Meetlocaties

De metingen zijn uitgevoerd op vier gangbare ligboxenstallen voor melkvee in Vlaanderen. Deze locaties worden uitgebreid beschreven in Declerck e.a. (2025) en Mosquera e.a. (2026). De gemeten melkveestallen (B1 t/m B4) worden natuurlijk geventileerd, en hebben naast een open nok ook ventilatieopeningen aan beide lange zijden van de stal. Bij alle vier de stallen is

permanent opstallen van toepassing (geen weidegang; dieren worden in de stal gemolken). Met uitzondering van de voergang zijn de stallen geheel onderkelderd. In Figuur 3.1 wordt de ligging van de bemeten stallen (A) ten opzichte van de omgeving grafisch weergegeven. Er zijn een aantal omliggende mogelijke emissiebronnen die de bepaling van de emissie uit de geselecteerde melkveestallen zou kunnen hebben beïnvloed, namelijk:

- **Locatie B1**. Ten zuidwesten: twee sleufsilo's (B); Ten zuiden: jongveestal (C); Ten zuidoosten: vleeskalverenstal (D).
- **Locatie B2**. Ten noorden van de stal: sleufsilo's (B), externe opslag voor drijfmest (C), stal met droge koeien en jongvee (D), stal voor jongvee (E), opslag voor stro (F).
- **Locatie B3**. Ten oosten van de stal: naast de stal een ruimte voor droge koeien (C), en iets verder één jongveestal (D) en één vleesvarkensstal (E); Ten noordoosten stal voor jongvee en droge koeien (G); Ten zuidoosten: zes sleufsilo's (B).
- **Locatie B4**. Ten zuidoosten van de stal: twee stallen voor opfok van jongvee en kalveren en voor droge koeien (C & E), en zeven sleufsilo's (D).



Figuur 3.1: Schematische weergave van de liggen van de stallen ten opzichte van andere bronnen in de omgeving. Bron: Declerck e.a. (2025)

3.2 Meetperiode

Een overzicht van de duur van de meetcampagnes uitgevoerd door ILVO en WLR is terug te vinden in Tabel 3.2. De vergelijkende analyses werden uitgevoerd op data van de gemeenschappelijke ILVO/WLR meetperiode.

Tabel 3.2: Overzicht van de meetperiodes op de vier melkveebedrijven voor ILVO en WLR.

Locatie		ILVO	WLR	Gemeenschappelijk
B1	Start	01-01-2023	04-11-2022	01-01-2023
	Stop	15-10-2024	30-04-2024	30-04-2024
B2	Start	01-05-2023	22-02-2023	01-05-2023
	Stop	01-11-2024	19-06-2024	19-06-2024
B3	Start	01-10-2023	15-05-2023	01-10-2023
	Stop	01-11-2024	21-08-2024	21-08-2024
B4	Start	01-10-2023	10-10-2023	01-10-2023
	Stop	01-11-2024	28-10-2024	28-10-2024

Voor de vergelijking van de emissies uit de stal met de remote meettechniek van TNO, werden drie dagen in 2024 gebruikt om rond de stallen in Vlaanderen te meten. Deze data zijn terug te vinden in Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Overzicht van de meetdagen op de vier melkveebedrijven met de remote meettechniek van TNO.

Locatie	Meetdag	Meetperiode met tracer
B1	/	
B2	19-03-2024	13:30 - 14:30
B3	21-03-2024	8:16 – 9:12 10:18 – 11:04
B4	21-03-2024	12:30 – 12:49 14:28 – 15:37
	22-03-2024	8:46 – 10:03

3.3 Overzicht gebruikte meettoestellen

Een samenvattend overzicht van de gebruikte meetinstrumenten gedurende de meetcampagne wordt getoond in Tabel 3.4 (ILVO) en Tabel 3.5 (WLR).

ILVO

Voor het meten van de concentraties van NH_3, CO_2 en CH_4 zijn door het ILVO twee verschillende toestellen gebruikt: 1) Axetris box en 2) Picarro-analyzer. Een Axetris box bestaat uit verschillende modules, namelijk een Gas Detector model LGD F200-A (NH_3-concentraties; Axetris, Kägiswil, Zwitserland), een Tunable Diode Laser (TDL) Gas Detector model LGD F200-A (CH_4-concentraties; Axetris, Kägiswil, Zwitserland) en een Smartgas FLOW EVO CO_2 sensor (smartGAS Mikrosensorik GmbH, Heilbronn, Duitsland). Deze modules werden door ILVO in een meetbox geïnstalleerd. Picarro-analyzers (Picarro Inc., Santa Clara, CA, Verenigde Staten) werken volgens het Cavity Ring Down principe. Zowel een single-gas NH_3-analyzer als een multigas (NH_3, CH_4 en CO_2) analyzer werd gebruikt. De kwaliteitscontrole

voor deze sensoren berust bij ILVO op een kalibratie uitgevoerd bij VITO. Tussen deze kalibraties in werden de toestellen gecontroleerd met behulp van gasflessen op het terrein (een validatie meting). Dit wordt meer in detail beschreven in Declerck et al. (2025) *3.7.4 Kalibratie gasanalyzers op basis van ringtesten bij VITO* en *3.7.5 Veldvalidatie gasanalyzers met behulp van gasflessen.*

Als extra kwaliteitscontrole voor de NH_3-meetinstrumenten zijn controlemetingen uitgevoerd door een aantal keer gelijktijdig met een standaard referentiemethode (SRM; nat-chemische methode) te meten. Deze SRM-methode is gebaseerd op het compendium voor de monsterneming, meting en analyse van lucht (LUC/VII/001), aangevuld met LUC/III/003 (Bepaling van het gehalte gasvormig of totaal NH_3 in een geleide gasstroom), LUC/0/005 (Essentiële kwaliteitsvereisten voor emissiemetingen) en LUC/0/007 (Monsterconservering en -bewaring). Er werd nagegaan of de waarden van de analyzers die tijdens de meetcampagne zijn ingezet niet meer dan 20% afweken dan de waarde bekomen met de nat-chemische analyse (resultaat te zien in Uitbreiding A). Indien het criterium werd overschreden werd zo snel mogelijk een nieuwe nat-chemische analyse uitgevoerd als controle. Wanneer deze opnieuw afwijkend was, werd de analyzer vervangen en onderzocht. Referentiemetingen voor CO_2- en CH_4-concentraties werden door ILVO niet uitgevoerd. Kwaliteitscontrole gebeurde hier via een validatieprocedure zoals beschreven in Declerck e.a. (2025) onder 3.7.5 *Veldvalidatie gasanalyzer met behulp van gasflessen*. Bij de SRM-metingen voor NH_3 is gedurende 24 uur de lucht afkomstig van de TGR-leiding afgetakt uit de centrale meetbuis en naar de nat-chemische opstelling gestuurd. De nat-chemische metingen werden altijd in duplo uitgevoerd, met andere woorden in twee treintjes. Deze treintjes bestonden uit 2-3 gaswasflessen die allemaal gekoeld werden door een ijsbad. In deze flessen zat 100 ml wasvloeistof (0.1M H_2SO_4). Met behulp van een flowmeter (AFM 103, Ankersmid M&C, België) werd het debiet dat doorheen de flesjes gestuurd geregeld. De aanzuigsnelheid lag tussen de 2,0 en 4,0 L/min. Na de laatste gaswasfles werd de lucht gedroogd met silica. Het volume gedroogde lucht ($V_{lucht,gasteller}$) werd gemeten met behulp van een droge gasteller (Gallus G1.6, Itron Inc., Liberty Lake, Washington, VS). Om de omrekening te kunnen doen van SI-eenheden naar ppm, werd de temperatuur (T_{gas}, Testo 175 T3 i.c.m. thermokoppel type K, Testo SE & Co. KGaA, Titisee-Neustadt, Duitsland) gelogd. De luchtdruk (p_{gas}) werd gedurende de bemeten 24 uur opgevraagd bij het KMI (Koninklijk Meteorologisch Instituut, Ukkel, België). Er werd tijdens elke meetdag een veldblanco genomen ter controle op contaminatie van de meetopstelling. De resultaten van de veldblanco's dienden enkel ter controle; bij overschrijding van de voorgeschreven criteria (zoals beschreven in LUC/VII/001) werd de meting als ongeldig beschouwd. Er werden dus geen correcties toegepast o.b.v. de resultaten van de veldblanco's.

De concentratie afgevangen ammoniak in de wasvloeistof ($C_{NH_3,wasvloeistof}$) werd in het laboratorium Teelt en Omgeving bij ILVO (accreditatienummer BELAC 314-TEST) bepaald met behulp van doorstroomanalyse (Flow Injectie Analyse (FIA)) en spectrometrische detectie

volgens het Compendium voor de monsterneming, meting en analyse van water WAC/III/E/021: bepaling van het gehalte aan ammoniumstikstof met behulp van doorstroomanalyse (WAC, 2012). Er werd voor deze metingen niet omgerekend naar standaard condities.

$$C_{NH_3,lucht}[\frac{mg}{m^3}] = \frac{C_{NH_3,wasvloeistof}\left[\frac{mg}{L}\right] * V_{wasvloeistof}[L]}{V_{lucht,gasteller}\ [m^3]}$$

$$C_{NH_3}[ppm] = C_{NH_3}\left[\frac{mg}{m^3}\right] * \frac{R[\frac{J}{mol * K}] * T_{gas}[K] * 10^6}{M_{NH_3}\left[\frac{g}{mol}\right] * 1000\ \left[\frac{mg}{g}\right] * p_{gas}[Pa]}$$

Naast de eerder vermelde veldblanco's werden nog andere kwaliteitscontroles uitgevoerd, zoals controle van de absorptie-efficiëntie van tenminste 95% (doorslag in de laatste gaswasfles van elke monsternametrein) en controle van het verschil tussen de duplometingen (maximaal 20%). Als bij één van voorgaande criteria een inbreuk werd gevonden, werd de meting ongeldig verklaard. ILVO is zowel ISO 17025:2017 geaccrediteerd (197-TEST) als VLAREL erkend (Pakket L.19) voor de bepaling van het ammoniakverwijderingsrendement van luchtbehandelingstechnieken bij stallen d.m.v. nat-chemische bepaling van de ammoniakconcentratie.

WLR

In dit onderzoek is door WLR gebruik gemaakt van een Dräger Polytron 8000 (met FL-6813260 sensor) om de NH_3-concentratie in de stallen continu te monitoren. Dit instrument is gebaseerd op de diffusie van lucht door een membraan in de vloeibare elektrolytoplossing van een elektrochemische sensor. Voor het meten van de CO_2-concentratie in de ingaande en uitgaande stallucht is gebruik gemaakt van een passieve *Non-dispersive infrared* (NDIR)-sensor (Vaisala CARBOCAP® met GMP252 sensor). Voor het meten van de CH_4-concentratie in de stallen is een NDIR-monitor (ABB EasyLine EL3000 met Uras26 sensor) gebruikt. In Tabel 3.5 wordt een overzicht gegeven van de gebruikte instrumenten per meetlocatie en positionering (binnen of buiten de stal).

Elke twee maanden zijn op alle meetlocaties in zowel de stallucht als in de binnenkomende (buiten)lucht concentratiemetingen met een duur van 24 uur volgens standaard referentiemethoden (SRM) voor NH_3, CO_2 en CH_4 in duplo uitgevoerd zoals beschreven in

- Mosquera e.a. (2019); NH_3: nat-chemische methode, met spectro-fotometrische bepaling in het laboratorium van WLR
- Mosquera e.a. (2020); CO_2 en CH_4: longmethode volgens Mosquera e.a. (2020) met analyse van de monsterlucht met gaschromatografie in het laboratorium van WLR.

In tegenstelling tot ILVO, zijn bij WLR deze gelijktijdige metingen gebruikt om de meetapparatuur in het veld te kalibreren, door gebruik te maken van de volgende procedure:

a) Wanneer minimaal 3 gelijktijdige metingen met de sensor (C_{sensor}) en de SRM (C_{SRM}) zijn uitgevoerd. Eerst wordt een lineaire regressie toegepast op C_{SRM} door C_{sensor} ($C_{SRM}=a*C_{sensor}+b$) om de parameters *a* en *b* te bepalen. Deze parameters worden dan toegepast om de veld-gekalibreerde sensormetingen te bepalen ($C_{sensorveldgekalibreerd}=a*C_{sensor}+b$).
b) Wanneer minder dan 3 gelijktijdige metingen met de sensor en de SRM zijn uitgevoerd. Eerst wordt het verschil in concentratie tussen C_{sensor} en C_{SRM} bepaald (Verschil= C_{SRM} -C_{sensor}), en de gemiddelde van de uitgevoerde metingen (n=1 of n=2) bepaald. De sensormetingen worden dan door dit verschil gecorrigeerd ($C_{sensorgecorrigeerd}=C_{sensor}$ +Verschil).

De resultaten van de SRM, alsook de sensormetingen (gemiddeld over de periode waar de SRM zijn uitgevoerd) en regressielijnen (voor de sensoren waar minimaal 3 gelijktijdige metingen met de SRM zijn uitgevoerd) worden in Uitbreiding B gerapporteerd.

Tabel 3.4: Per stal, overzicht van de gebruikte meetinstrumenten door ILVO.

Locatie	Periode	NH_3	CH_4 en CO_2
B1	1-1-2023 tot 15-10-2024	Picarro G2508	Picarro G2508
B2	1-5-2023 tot 18-3-2024	Picarro G2301*	Axetris box 0**
	19-3-2024 tot 31-7-2024	Axetris box 4	Axetris box 4
	1-8-2024 tot 1-11-2024	Picarro G2509	Picarro G2509
B3	1-10-2023 tot 1-11-2024	Axetris box 1	Axetris box 1
B4	1-10-2023 tot 2-1-2024	Axetris box 2	Axetris box 2
	3-1-2024 tot 1-11-2024	Axetris box 3	Axetris box 3

* Picarro G2301 meet enkel NH_3
**Axetris box 0 is een meetbox zonder NH_3 gasmodule

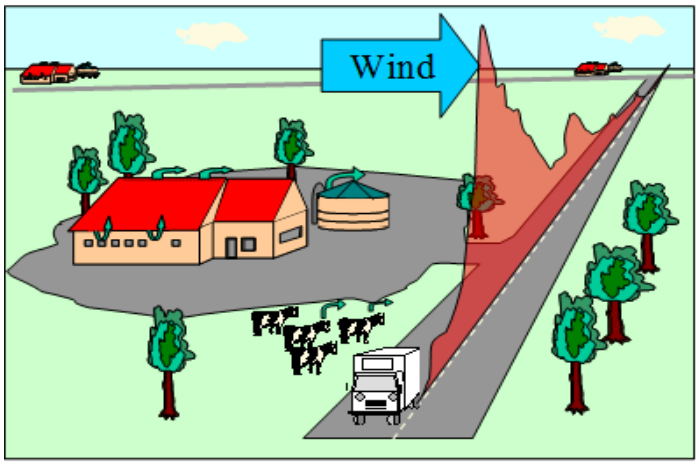
Tabel 3.5: Per stal, overzicht van de gebruikte meetinstrumenten door WLR. BuZW, BuNO, BuW, BuO: ingaande lucht (buiten de stal), gepositioneerd zuidwest (ZW), noordoost (NO), west (W) of Oost (O) van de stal.

Locatie	Gas	Sensor	Positie	Begin	Eind
B1	NH_3	P8000-4	Stal	03-11-2022	12-02-2024
	NH_3	P8000-53	Stal	27-02-2024	30-04-2024
	CH_4	-	Stal	-	-
	CO_2	Vais-130	Stal	03-11-2022	20-12-2022
	CO_2	Vais-95	Stal	20-12-2022	30-04-2024
	CO_2	Vais-9	BuZW	03-11-2022	30-04-2024
	CO_2	Vais-17	BuNO	03-11-2022	20-12-2022
	CO_2	Vais-14	BuNO	20-12-2022	30-04-2024
B2	NH_3	P8000-40	Stal	13-02-2023	12-02-2024
	NH_3	P8000-51	Stal	12-02-2024	19-06-2024
	CH_4	ABB-55	Stal	23-08-2023	19-06-2024
	CO_2	Vais-108	Stal	13-02-2023	19-06-2024
	CO_2	Vais-212	BuNO	13-02-2023	23-08-2023
	CO_2	Vais-208	BuNO	23-08-2023	19-06-2024
	CO_2	Vais-213	BuZW	13-02-2023	23-08-2023
	CO_2	Vais-207	BuZW	23-08-2023	19-06-2024
B3	NH_3	P8000-5	Stal	15-05-2023	12-02-2024
	NH_3	P8000-25	Stal	12-02-2024	21-08-2024
	CH_4	ABB-21	Stal	15-08-2023	21-08-2024
	CO_2	Vais-157	Stal	15-05-2023	21-08-2024
	CO_2	Vais-155	BuO	15-05-2023	17-08-2023
	CO_2	Vais-167	BuO	17-08-2023	21-08-2024
	CO_2	Vais-170	BuW	15-05-2023	21-08-2024
B4	NH_3	P8000-10	Stal	09-10-2023	12-02-2024
	NH_3	P8000-24	Stal	12-02-2024	28-10-2024
	CH_4	ABB-12	Stal	09-10-2023	28-10-2024
	CO_2	Vais-215	Stal	09-10-2023	28-10-2024
	CO_2	Vais-37	BuZW	09-10-2023	28-10-2024
	CO_2	Vais-82	BuNO	09-10-2023	28-10-2024

TNO

De remote meetmethode maakt gebruik van een truck met aanhanger, de meetwagen, die over een weg benedenwinds van de stal mobiele pluimtransect ritten uitvoert. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 3.2. Hierbij rijdt de wagen minimaal 12 keer heen en weer door de “emissiepluim” van de stal, die ontstaat doordat de wind die over en door de stal waait, het uitgestoten methaan en ammoniak meevoert. Om later de effecten van turbulentie en dispersie in de berekeningen te elimineren, wordt een gasfles met lachgas (N_2O) met een bekende emissiesnelheid in g/s direct bij de stal in de wind geplaatst. De gasflow wordt constant gehouden met behulp van een kritisch capillair en de fles wordt voor en na de tracer gewogen, op basis waarvan de emissiesnelheid van N_2O achteraf berekend wordt. Windsnelheid en -richting worden bepaald met een 3D-sonic anemometer van Gill met een

frequentie van 10 Hz, die op 2 meter hoogte in het veld geplaatst wordt tussen de te bemeten stal en de weg waarop de meetwagen rijdt.
Tijdens deze ritten wordt omgevingslucht aangezogen via een inlaat boven op de meetwagen en via aanzuigleidingen naar een Tunable Infrared Laser Direct Absorption Spectroscopy (TILDAS)-instrument van Aerodyne geleid. Het instrument meet methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) concentraties met een frequentie van 1 Hz, gebruikmakend van een instelbare infraroodlaser in een optische absorptiecel. Deze configuratie, waarbij de bemonsterde lucht continu door een afgesloten meetcel stroomt, wordt aangeduid als een 'closed-path'-systeem.
Het gebruik van een closed-path-systeem is echter uitdagend voor metingen van ammoniak. De "plakkerigheid" van ammoniak zorgt ervoor dat in een 'closed-path' systeem het gemeten concentratiesignaal in de tijd wordt uitgesmeerd, door adsorptie en desorptie in de aanzuigleidingen en de optische cel van het instrument. Om deze reden werd er een open-path ammoniakmeetinstrument, de HT8700E van Healthy Photon, op het dak van de vrachtwagen geplaatst, wat resulteert in real-time ammoniakmetingen met een frequentie van 10 Hz en een detectielimiet en resolutie van enkele ppb.



Figuur 3.2 Schematische weergave van een pluimtransect bij een remote meting van een stal.

3.4 Verschillen tussen meetmethodes

Er zijn door ILVO, WLR en TNO verschillende methoden toegepast om de emissies te bepalen:

a) Directe methode (Figuur 3.3, rode bollen en rode driehoeken en Figuur 3.4). Deze methode wordt alleen door ILVO toegepast. Bij deze methode wordt het ventilatiedebiet ($V^{ILVO,direct}$) via metingen van de windsnelheid aan de ventilatieopeningen bepaald. Door het ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met het verschil in concentratie van het doelgas (uitgaande stalluchtconcentratie ($C_{gas}^{ILVO,stal}$) – ingaande buitenluchtconcentratie ($C_{gas}^{ILVO,buiten}$)) kan de emissie ($E^{ILVO,direct}$) worden bepaald:

$$E^{ILVO,direct} = V^{ILVO,direct} * (C_{gas}^{ILVO,stal} - C_{gas}^{ILVO,buiten})$$

b) Indirecte methode (Figuur 3.3, blauwe driehoek en rode driehoeken voor ILVO; blauwe driehoek en blauwe vierkanten voor WLR en Figuur 3.4), gebaseerd op de tracergasratio methode (TGR), met CO_2 als door dieren en mest geproduceerd tracergas. Deze methode is door zowel ILVO als WLR toegepast. Bij deze methode is de CO_2-productie (PCO2) in de stal bepaald op basis van rekenregels zoals beschreven in Pedersen & Sällvik (2002) en Pedersen e.a. (2008). Op basis hiervan kan het ventilatiedebiet ($V^{ILVO,TGR}$; $V^{WLR,TGR}$) worden afgeleid en de emissies ($E^{ILVO,TGR}$; $E^{WLR,TGR}$) worden bepaald:

$$E^{ILVO,TGR} = V^{ILVO,TGR} * (C_{gas}^{ILVO,stal} - C_{gas}^{ILVO,buiten})$$
$$V^{ILVO,TGR} = \frac{PCO2}{(C_{CO2}^{ILVO,stal} - C_{CO2}^{ILVO,buiten})}$$

$$E^{WLR,TGR} = V^{WLR,TGR} * (C_{gas}^{WLR,stal} - C_{gas}^{WLR,buiten})$$
$$V^{WLR,TGR} = \frac{PCO2}{(C_{CO2}^{WLR,stal} - C_{CO2}^{WLR,buiten})}$$

c) Remote meetmethode. Deze methode is alleen door TNO toegepast om de emissies ($E^{TNO,gas}$) op afstand van de stal te bepalen. Bij deze methode worden de met de meetwagen in de pluim gemeten concentraties van methaan, ammoniak en lachgas teruggerekend naar een emissiewaarde voor de bemeten bron. Dit kan met behulp van een Gaussisch pluimmodel of met de tracer ratio methode. Voor deze studie is alleen de tracer ratio methode gebruikt, waarbij de emissiesnelheid van het doelgas uit de bron ($E^{TNO,\ gas}$) wordt berekend als:

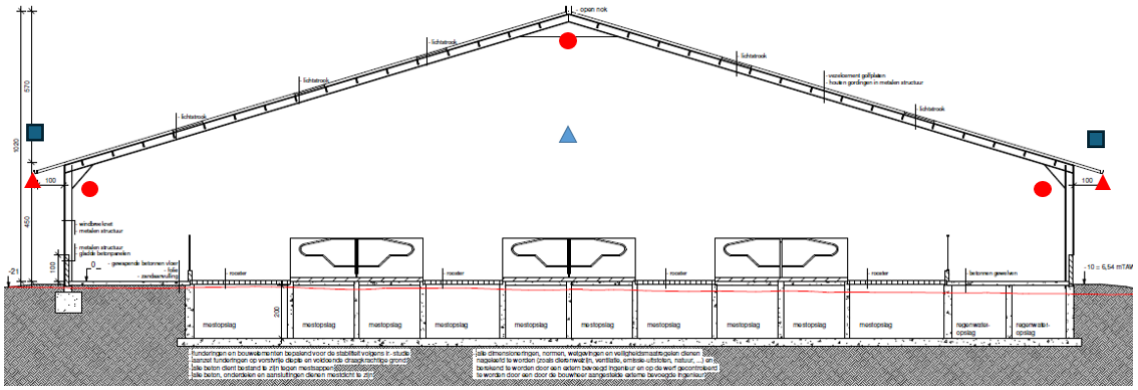
$$E^{TNO,gas} = E^{TNO,tracergas} \cdot \frac{M_{\text{gas}}}{M_{\text{tracer}}} \cdot \frac{\int s_{\text{gas}}}{\int s_{\text{tracer}}}$$

met $E^{TNO,\ tracergas}$ de bekende emissiesnelheid van de lachgastracer uit de fles, *M* de moleculaire massa van het doelgas/de tracer (in A.U.) en *s* één van de gemeten concentratiemeetwaarden van het doelgas/de tracer tijdens een transect (in ppb)[1]. Voor de gerapporteerde waarde wordt de emissiesnelheid gemiddeld over alle transects.

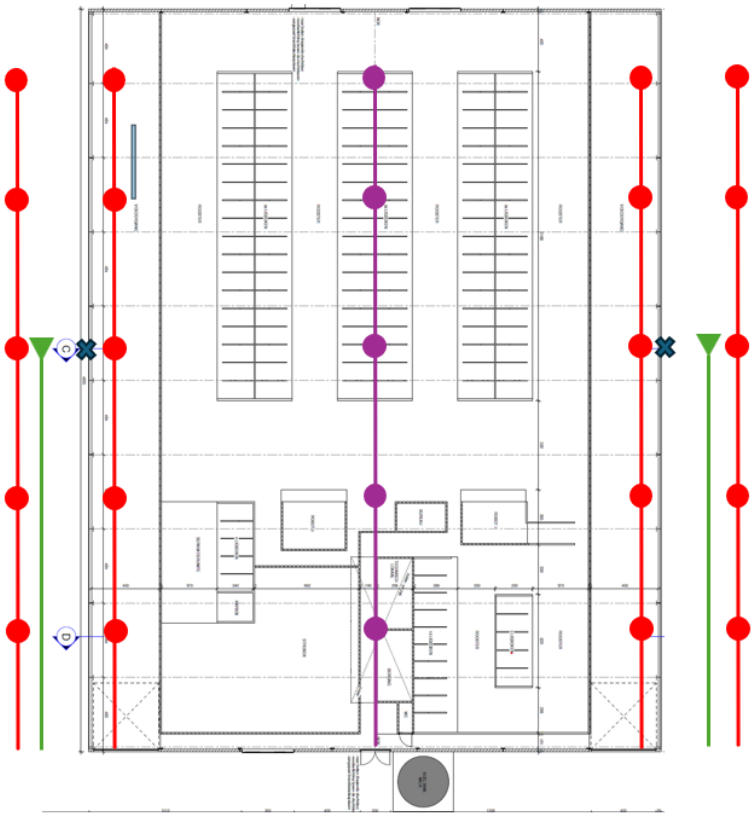
Voorwaarden bij deze methode zijn: (i) transect-metingen kunnen op voldoende afstand (> 100 m) worden uitgevoerd, zodat de dispersie van de tracer en het doelgas vergelijkbaar zijn, (ii) de windsnelheid is in de range van 2-12 m/s, voldoende voor

[1] De windmetingen zijn alleen nodig bij gebruik van de Gaussische pluimmethode. Deze wordt hier niet behandeld.

pluimvorming, maar niet te veel verdunning, en (iii) de emissiepluim van de bron is goed te onderscheiden van emitterende objecten in de nabije omgeving[2].



Figuur 3.3: 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 TGR-meetmethode uitgevoerd door ILVO en WLR, de rode driehoeken (ILVO) en blauwe vierkanten (WLR) zijn de leidingen (ILVO) of punten (WLR) gebruikt voor het bemonsteren van de ingaande lucht.



Figuur 3.4: Bovenaanzicht van een schematische weergave van de verzamelleidingen. De rode lijnen zijn de ILVO-verzamelleidingen, de rode bollen de ILVO-monsternamepunten (kritische capillairen). De centrale paarse lijn geeft de positie van de verzamelleidingen van ILVO en WLR weer centraal in de stal, de paarse bollen zijn de monsternamepunten. De groene lijnen zijn de ILVO-leidingen in het geval er voor een puntmeting wordt gekozen. De groene driehoek geeft het ILVO monsternamepunt aan. De blauwe kruisjes geven de positie weer van de monsternamepunten voor de CO_2-metingen van WLR.

[2] Indien er meerdere emitterende objecten in de nabije omgeving zijn, dan is de analyse waarschijnlijk wel uitvoerbaar mits er metingen met verschillende tracerplaatsingen zijn uitgevoerd, waarmee de bijdragen van de verschillende bronnen ontrafeld kunnen worden. Deze methode is nog niet uitontwikkeld.

Deze verschillen in meetmethoden en meetstrategie zijn onderzocht voor de volgende onderdelen. Per onderdeel wordt ook vermeld wat de vergelijking bemoeilijkt:

a) Gasconcentraties. Hierbij wordt zowel gekeken naar het doelgas (NH_3, CH_4) als naar het tracergas (CO_2; nodig voor het afleiden van het ventilatiedebiet volgens de TGR-methode), voor zowel stallucht (uitgaande luchtconcentraties) als buitenlucht (ingaande luchtconcentraties).
   Naast het gebruik van verschillende analyzers was een groot verschil tussen beide instanties de methode van kalibreren van deze analyzers. Bij ILVO werd er een labkalibratie uitgevoerd bij VITO. Bij WLR werd zowel een labkalibratie in eigen lab als een veldkalibratie uitgevoerd.
   De monsternamelocatie van de ingaande luchtmetingen verschilde ook. Zo mat ILVO onder de dakgoot, meestal via een verzamelleiding over de hele stallengte, terwijl WLR enkel CO_2 continu mat 1 m boven de dakgoot in het midden van de stallengte. NH_3- en CH_4-concentraties werden enkel gemeten met behulp van standaard referentie methoden (NH_3: nat-chemische methode volgens Mosquera e.a. (2019); CH_4: longmethode volgens Mosquera e.a. (2020)). Het was met de huidige opstelling niet mogelijk om de meest optimale monsternamelocatie te bepalen.

b) Ventilatiedebiet. Bij dit onderdeel wordt de focus gelegd op de bepalingen van het ventilatiedebiet die door ILVO zijn uitgevoerd met de directe (met anemometers) en indirecte (TGR) methode. Bij deze vergelijking zijn zowel de inputgegevens (waarden uit de anemometers voor de directe methode, concentratiemetingen bij de TGR-methode) als de berekeningsmethodiek anders. Op de vergelijking tussen de TGR-methode van ILVO en WLR wordt niet diep ingegaan. Dit doordat beide bepalingen dezelfde berekeningsmethodiek gebruiken, en de verschillen voornamelijk te wijten zijn aan de eerder besproken concentratieverschillen.

c) Emissies. Hierbij wordt voornamelijk gekeken naar de vergelijking tussen de stalemissies die bepaald zijn met de directe en indirecte methode van ILVO, en waar mogelijk tussen de directe methode van ILVO en de bepalingen van TNO via remote sensing. In de vergelijking tussen ILVO en TNO verschillen de gebruikte concentraties, ventilatiedebieten en berekeningsmethodiek aanzienlijk, waardoor de verschillen in emissiewaarden toegewezen kunnen worden aan de verschillen in deze drie factoren. Verschillen in emissie tussen de directe en indirecte methode van ILVO kunnen worden veroorzaakt door zowel de bepalingen van het ventilatiedebiet, als door het verschil in positionering van de monsternamepunten die voor de concentratiemetingen wordt toegepast. Er wordt niet ingegaan op een vergelijking tussen de indirecte methoden van ILVO en WLR, aangezien dit het gevolg is van de verschillen in concentratiemetingen.

3.5 Dataverwerking

De berekeningsmethodiek die toegepast wordt om de emissies te bepalen is in Declerck e.a. (2025), Mosquera e.a. (2026) en Bronsveld e.a. (2026) voor respectievelijk ILVO, WLR en TNO uitgebreid beschreven.

De data voor de directe ILVO-methode en de indirecte methode geïmplementeerd door ILVO werd verwerkt met behulp van Python 3.13.5. De gebruikte *integrated development environment* was Visual Studio Code 1.103.2 (Microsoft, Redmont, WA, USA). De kwaliteitscriteria voor de data van de directe methode wordt uitvoerig besproken in Declerck e.a. (2025) onder titel *3.9.1 Controle op volledigheid, kwaliteit en consistentie* en *3.7.2 Randvoorwaarden gesteld bij de ILVO-meetmethoden.*

Bij WLR zijn de emissies zowel in Excel als met behulp van R-studio (versie 4.4.1) bepaald en met elkaar vergeleken, als kwaliteitscontrole voor de berekeningsmethodiek. Sensordata voor continue concentratiemetingen zijn elke twee maanden met behulp van gelijktijdige metingen met de SRM gecontroleerd (en door middel van een veldkalibratie-regressielijn gecorrigeerd). Bij een afwijking van meer dan 10% tussen de referentiemetingen en de gecorrigeerde waarden en/of bij sensorstoringen werd de sensor vervangen. Alleen daggemiddelden met minimaal 80% beschikbare data werden geaccepteerd voor gebruik in de TGR-methode.

Bij het vergelijken van de concentraties gemeten door ILVO en WLR werd enerzijds gekeken naar de metingen op de TGR-leidingen (dezelfde positionering van monsternamepunten, verschillende meetinstrumenten en meetfrequentie tussen ILVO en WLR) op uurbasis, en anderzijds naar de ingaande luchtconcentraties (verschillen in positionering, apparatuur en meetfrequentie tussen ILVO en WLR). Voor de vergelijking van het ventilatiedebiet en de emissies zijn daggemiddelden gebruikt.

Voor verwerking van de transectdata bij de remote meetmethode van TNO is gebruik gemaakt van een Jupyter Notebook (Python 3.13.2) in Visual Studio Code (voor eenvoudige bewerkingen van resultaten is soms Excel gebruikt). Voor vergelijking met de directe methode van ILVO is een vergelijking gemaakt op basis van gemiddelde emissiesnelheden in de periode voor, tijdens en na de metingen van TNO.

4 Resultaten en discussie

In dit hoofdstuk worden de resultaten weergegeven en bediscussieerd van de gelijktijdige metingen die door ILVO en WLR zijn uitgevoerd op vier gangbare ligboxenstallen voor melkvee in Vlaanderen. Deze metingen hadden als doel de meetmethoden en -strategieën die door ILVO en WLR gebruikt zijn om concentraties (Hoofdstuk 4.1), ventilatiedebiet (Hoofdstuk 4.2) en emissies (Hoofdstuk 4.3) te bepalen, met elkaar te vergelijken.

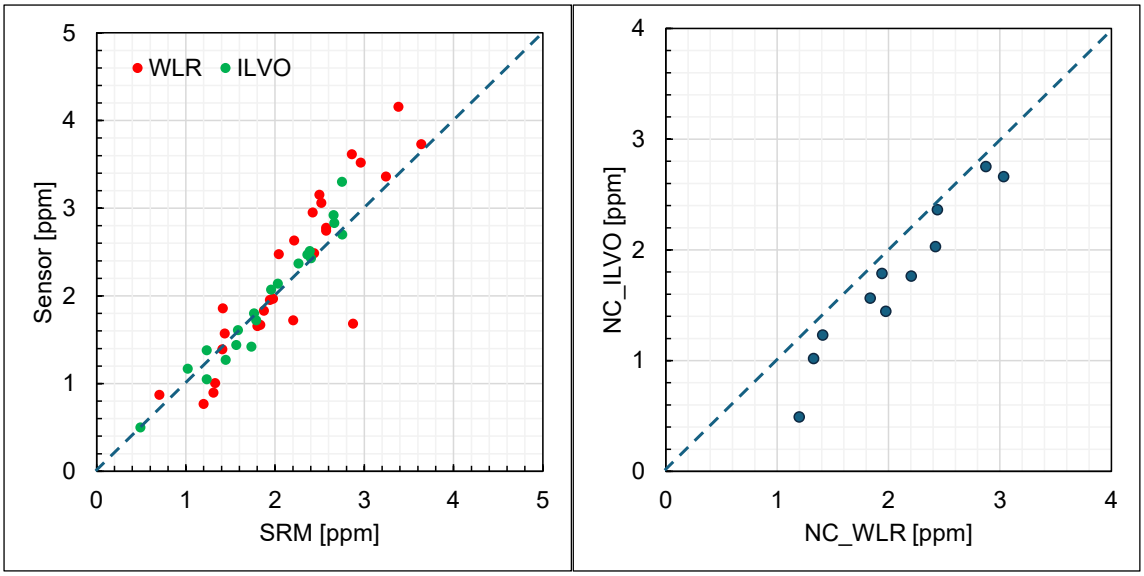
4.1 Gasconcentraties

Zoals aangegeven in Hoofstuk 2.3 zijn door ILVO en WLR verschillende meetinstrumenten gebruikt om de concentraties (zowel in de uitgaande stallucht als in de ingaande buitenlucht) te meten. Ook waren er verschillen in hoe de standaard referentiemethode (SRM) werd toegepast. Deze verschillen worden hieronder afzonderlijk besproken. Voor aanvullende informatie en visuele waarnemingen (tijdreeksen en Bland-Altman plots) wordt naar Uitbreiding C verwezen.

4.1.1 SRM-concentratiemetingen

In Figuur 4.1 (links) worden de door ILVO en WLR uitgevoerde SRM-metingen voor NH_3 vergeleken met de gelijktijdig uitgevoerde sensormetingen. Over het algemeen zijn zowel de WLR-sensorwaarden (rode punten in Figuur 4.1-links) als de ILVO-sensorwaarden (groen punten in Figuur 4.1-links) vergelijkbaar, of iets hoger dan de SRM voor concentraties hoger dan 2 ppm. Voor concentraties onder 2 ppm zijn de ILVO-sensorwaarden vergelijkbaar met de SRM, terwijl de WLR-sensorwaarden over het algemeen lager zijn dan de SRM. Dit heeft als gevolg dat de grootste verschillen tussen WLR en ILVO door het wel/niet toepassen van een veldkalibratielijn voor NH_3 waarschijnlijk bij lage concentratieniveaus te vinden zullen zijn.

De uitvoering van de SRM voor NH_3 in de praktijk is voor ILVO en WLR anders. Figuur 4.1 (rechts) laat zien, voor de beschikbare metingen waar gelijktijdig SRM-metingen door ILVO en WLR zijn uitgevoerd, dat de waarden bij de door ILVO uitgevoerd SRM-metingen over het algemeen lager zijn (gemiddeld 0,32 ppm) dan die van WLR. Dit verschil kan niet worden verklaard op basis van de in dit onderzoek beschikbare data en dient verder onderzocht te worden.



Figuur 4.1. Links: Vergelijking tussen de SRM-metingen voor NH_3 en de gelijktijdig uitgevoerde sensormetingen over alle vier meetlocaties, voor zowel ILVO (groene punten) als WLR (rode punten). Elke meetinstantie heeft zijn SRM-metingen vergeleken met zijn uitgevoerde sensormeting. De sensormetingen waren enkel labgekalibreerd. Rechts: Vergelijking tussen de door ILVO en WLR gelijktijdige uitgevoerde nat-chemische (NC) SRM-metingen over alle vier meetlocaties. SRM: standaard referentiemethode (nat-chemische metingen).

4.1.2 Stalconcentratiemetingen op de TGR-leiding

Zoals aangegeven in Hoofdstuk 3.3 hebben zowel ILVO als WLR een verzamelleiding in de stallen geplaatst die qua positionering en uitvoering aan de randvoorwaarden van het VERA-protocol voldeed (TGR-leiding). Hieronder worden de belangrijkste resultaten gepresenteerd en bediscussieerd. In Uitbreiding C worden de visuele waarnemingen (tijdsreeksen en Bland-Altman plots) weergegeven.

Gemiddeld over alle vier locaties (met alleen meetdagen waar data van zowel ILVO als WLR beschikbaar was) was de gemeten **NH_3-stalluchtconcentratie** door WLR 0,30 ppm (37%) hoger (zie Tabel 4.1) dan de door ILVO gemeten waarden (respectievelijk 2,3 ppm en 2,0 ppm voor de door WLR en ILVO gemiddelde NH_3-stalluchtconcentratie). De relatieve verschillen waren het kleinst (15%) voor locatie B2, en het grootst bij locaties B1 en B4 (53%). **De vastgestelde verschillen zijn bijgevolg niet verwaarloosbaar en dienen verder onderzocht te worden.**

Voor de **CO_2-stalluchtconcentraties** zijn de relatieve verschillen tussen de gemeten waarden van ILVO en WLR (voor de meetdagen waar data van zowel ILVO als WLR beschikbaar was) over het algemeen kleiner dan voor de NH_3-stalluchtconcentraties (19 ppm of 2% lagere waarden voor WLR ten opzichte van ILVO; zie Tabel 4.1). Voor CO_2 is alleen bij stal B2 een iets meer uitgesproken verschil (6%, oftewel 55 ppm) waargenomen tussen de stalconcentraties die door ILVO en WLR zijn gemeten. Dit komt doordat voor de gemeenschappelijke meetperiode twee verschillende Smartgas-sensoren door ILVO zijn gebruikt die allebei duidelijk problemen hadden met drift (Declerck e.a., 2025).

Gemiddeld over deze drie locaties waren de verschillen in **CH_4-stalluchtconcentraties** tussen ILVO en WLR klein (0,3 ppm of 2% hogere waarden voor WLR ten opzichte van ILVO; zie Tabel 4.1). Er zijn echter verschillen tussen locaties: bij locatie B2 waren de gemeten waarden van WLR 19% hoger (10,0 ppm) en bij locaties B3 en B4 lager dan de gemeten ILVO-concentraties (4% (2,5 ppm) en 9% (6,6 ppm) voor respectievelijk B3 en B4).

Er zijn verschillende factoren die deze verschillen tussen instellingen, alsook tussen wat voor NH_3, CO_2 en CH_4 is geconstateerd, deels zouden kunnen verklaren. Ten eerste is de manier van kalibreren van beide instellingen verschillend (alleen labkalibratie bij ILVO; lab- en veldkalibratie bij WLR). Ten tweede verschilt de meetfrequentie (bij ILVO bestaat elke uur-waarde uit de gemiddelde meting tijdens de laatste minuut van meetperiode die 10 minuten per kanaal duurt; bij WLR zijn uurgemiddelden gebaseerd op 5-minuten-waarden). Deze twee factoren hebben een effect op de hoogte en variatie in de concentratiewaarden die door beide meetinstellingen zijn gemeten. De kleinere verschillen tussen ILVO en WLR voor CO_2 en CH_4 ten opzichte van NH_3 kunnen gerelateerd zijn aan de veel hogere CO_2- en CH_4-concentraties (ten opzichte van detectiegrens) vergeleken met de NH_3-concentraties, en dat deze componenten (CO_2 en CH_4) gunstigere fysische eigenschappen hebben dan NH_3 (minder plakkerig) om ze correct te meten.

Geadviseerd wordt om verder te onderzoeken 1) of een veldkalibratie nodig is, en zo ja wanneer en hoe een veldkalibratie uitgevoerd dient te worden, en 2) om vervolgens het effect van het wel/niet toepassen van een veldkalibratie (met gelijktijdige metingen met een SRM) op de sensormetingen van zowel NH_3 als voor CO_2 en CH_4 verder te bepalen.

Tabel 4.1: Per locatie, gemiddelde (over alle dagen met gelijktijdige ILVO- en WLR-data) van de gemeten verschilconcentraties (in ppm) en concentratieratio's op de TGR-leiding door WLR- en ILVO-meetdata. St: stallucht op de TGR-leiding. n.g.: niet gemeten.

Locatie	$StNH3^{WLR}$ - $StNH3^{ILVO}$	$StNH3^{WLR}$ / $StNH3^{ILVO}$	$StCH4^{WLR}$ – $StCH4^{ILVO}$	$StCH4^{WLR}$ / $StCH4^{ILVO}$	$StCO2^{WLR}$ – $StCO2^{ILVO}$	$StCO2^{WLR}$ / $StCO2^{ILVO}$
B1	0,34	1,53	n.g.	n.g.	3	1,01
B2	0,27	1,15	10,0	1,19	-55	0,94
B3	0,18	1,30	-2,5	0,96	0	1,00
B4	0,40	1,49	-6,6	0,91	-25	0,97

4.1.3 Ingaande luchtconcentraties

Zoals aangegeven in Hoofdstuk 3.3 hebben zowel ILVO als WLR ingaande luchtconcentraties buiten, aan beide kanten van de stal gemeten.

In de directe methode wordt de gemeten windrichting gebruikt om de locatie van de ingaande lucht te bepalen, terwijl de indirecte methode hiervoor eenvoudigweg de minimale concentratie van de metingen aan beide kanten van de stal gebruikt. In Mosquera e.a. (2026) werd geconcludeerd, op basis van WLR-concentratiewaarden, dat het verschil tussen minimum en windrichtingafhankelijke waarden minimaal was (voor alle meetlocaties en voor elke windrichting, en vooral voor zuidwestelijke wind, de heersende windrichting; zie Figuur 3.8 uit Mosquera e.a., 2026). Dit betekent dat de resultaten in volgende alinea's ook van toepassing zijn op de ingaande concentraties gebruikt bij de directe methode.

CO_2-concentraties

De ingaande luchtconcentratie werd alleen voor CO_2 door zowel ILVO als WLR continu gemeten. Het is daardoor alleen voor CO_2 mogelijk om een zuivere vergelijking te maken tussen de methoden van ILVO en WLR voor de ingaande luchtconcentraties. Hier is aan te merken dat de verschillen tussen beide meetinstellingen op verschillende niveaus te vinden zijn: meetapparatuur, meetfrequentie en positionering van de monsternamepunt/-leiding.

Gemiddeld over alle vier locaties (met alleen meetdagen waar data van zowel ILVO als WLR beschikbaar was) was de ingaande luchtconcentratie die door WLR is gemeten lager (19 ppm; 4%) dan de door ILVO gemeten waarden (zie Tabel 4.2). De continu ingaande CO_2-luchtconcentraties gemeten door ILVO laten een hoog niveau van variabiliteit zien (zowel binnen als tussen meetlocaties; zie Uitbreiding C). Dit is voor de WLR-metingen minder zichtbaar. De positionering van de monsternamelocatie zou hier een rol gespeeld kunnen hebben. Er kan meer variatie of invloed van de omgeving op de metingen van ILVO zijn in vergelijking met de meetinstrumenten van WLR. Bij meetlocatie B2 is bij de ILVO-meetinstrumenten drift geconstateerd.

NH_3- en CH_4-concentraties

Het is niet mogelijk om een zuivere vergelijking tussen ILVO en WLR voor de ingaande luchtconcentraties van NH_3 en CH_4. De belangrijkste reden is dat ILVO deze concentraties continu heeft gemeten, terwijl dit voor WLR niet het geval was (24-uursmetingen elke twee maanden).

Visueel (zie Uitbreiding C, Figuur C4) is aan te merken dat de ingaande luchtconcentraties voor **NH_3** (bepaald **op basis van de minimumwaarden** tussen de meetpunten/leidingen aan de westelijke en oostelijke kant, buiten de stal) over het algemeen lager waren bij de WLR-metingen dan bij de ILVO-metingen. De continu gemeten ingaande NH_3- en CH_4-luchtconcentraties (ILVO) laten een hoog niveau van variabiliteit zien (zowel binnen als tussen meetlocaties).

Gemiddeld over alle vier locaties (met alleen meetdagen waar data van zowel ILVO als WLR beschikbaar waren) lag de ingaande luchtconcentratie die door WLR werd gemeten lager (0,28 ppm voor NH_3; 4,4 ppm voor CH_4) dan de door ILVO gemeten waarden (zie Tabel 4.2). De discontinue WLR-metingen komen voor een deel van de meetperioden bij locaties B1 en B2 overeen met de laagste concentraties gemeten met de NH_3-analyzers van ILVO. Voor locaties B3 en B4 lijkt een systematisch verschil te zijn tussen de discontinue metingen van WLR, en de continue metingen van ILVO wat betreft NH_3, en voor locatie B2 wat betreft CH_4.

Op basis van de beschikbare data is niet mogelijk te kwantificeren of de gevonden verschillen te maken hadden met beïnvloeding van de meetstallen zelf (meetpunten/meetleidingen te dicht bij de stal), met de aanwezigheid van andere bronnen dicht bij de gemeten stal (zie Figuur 3.1), en/of de verschillen in kalibratieprocedure en positionering van de monsternamepunten/-leidingen tussen WLR en ILVO.

Geadviseerd wordt om verder te onderzoeken of ingaande luchtconcentraties (van niet alleen CO_2, maar ook NH_3 en CH_4) continu gemeten moeten worden, en zo ja hoe dit in de praktijk toegepast kan worden (aantal meetpunten/leidingen en positionering buiten de stal, al dan niet met controle van de richting van de luchtstroom).

Tabel 4.2: Per locatie, gemiddelde (over alle dagen met gelijktijdige ILVO- en WLR-data) van de concentratieverschillen (in ppm) en concentratieratio's tussen WLR- en ILVO-meetdata. Bu: ingaande (buiten)luchtconcentratie. n.g.: niet gemeten.

Locatie	$BuNH3^{WLR}$ - $BuNH3^{ILVO}$	$BuNH3^{WLR}$ / $BuNH3^{ILVO}$	$BuCH4^{WLR}$ – $BuCH4^{ILVO}$	$BuCH4^{WLR}$ / $BuCH4^{ILVO}$	$BuCO2^{WLR}$ – $BuCO2^{ILVO}$	$BuCO2^{WLR}$ / $BuCO2^{ILVO}$
B1	-0,18	0,73	-2,8	0,89	9	1,02
B2	-0,27	0,46	-2,2	1,07	-34	0,93
B3	-0,46	0,21	-9,2	0,57	-25	0,96
B4	-0,23	0,32	-3,5	0,78	-27	0,95

4.1.4 Concentratieverschil (stal- ingaande luchtconcentraties)

Gemiddeld over alle vier locaties (met alleen meetdagen waar data van zowel ILVO als WLR beschikbaar was) lag het concentratieverschil voor **NH_3** tussen de uitgaande stallucht en de ingaande (buiten)luchtconcentratie die door WLR is gemeten 0,5 ppm hoger dan de door ILVO gemeten waarden (zie Tabel 4.3). **Dit verschil is voor alle vier locaties afzonderlijk te zien en is relatief hoog vergeleken met de gemiddelde stalluchtconcentraties (rond 2 ppm).**

Voor **CH_4** was het concentratieverschil bij de WLR-metingen gemiddeld (over drie locaties) 5 ppm hoger dan bij de ILVO-metingen (zie Tabel 4.3). Dit verschil tussen WLR- en ILVO-metingen voor CH_4 is laag ten opzichte van de gemiddelde stalluchtconcentratie (rond 55 ppm).

Wat betreft **CO_2** was het concentratieverschil bij de WLR-metingen op twee locaties hoger en op twee locaties lager dan bij de ILVO-metingen. Gemiddeld (over alle vier locaties) was het concentratieverschil bij de WLR-metingen 11 ppm hoger dan bij de ILVO-metingen (zie Tabel

4.3). Dit verschil tussen WLR- en ILVO-metingen voor CO_2 is laag ten opzichte van de gemiddelde stalluchtconcentratie (rond 700 ppm).

Aanvullende informatie over het verloop van de concentratieverschillen (tijdreeksen en Bland-Altman plots) wordt in Uitbreiding C weergegeven.

Tabel 4.3: Per locatie, gemiddelde (over alle dagen met gelijktijdige ILVO- en WLR-data) van de concentratieverschillen (in ppm) tussen uitgaande stallucht en ingaande (buiten)lucht, voor zowel CO_2, NH_3 en CH_4, en voor zowel WLR- als ILVO-meetdata. n.b.: niet bepaald (geen WLR-metingen). Vers: verschil.

Locatie	NH3VersILVO	NH3VersWLR	CH4VersILVO	CH4VersWLR	CO2VersILVO	CO2VersWLR
B1	1,1	1,6	n.b.	n.b.	175	175
B2	1,9	2,3	53	61	254	244
B3	1,1	1,7	33	40	196	231
B4	2,3	2,8	47	48	280	300

4.2 Ventilatiedebiet

In dit hoofdstuk worden de verschillende methoden die door ILVO en WLR zijn gebruikt om het ventilatiedebiet te bepalen kort met elkaar vergeleken. Dit betreft volgende analyses:

1. Indirecte tracergas ratiomethode ILVO ($V^{ILVO,TGR}$) versus Indirecte tracergas ratiomethode WLR ($V^{WLR,TGR}$). Hierbij wordt dus eenzelfde berekeningsmethode (op enkele details na) toegepast, maar op basis van verschillende concentratiemetingen (zie Hoofdstuk 4.1 Gasconcentraties).
2. Directe methode ILVO ($V^{ILVO,direct}$) versus Indirecte tracergas ratiomethode ILVO ($V^{ILVO,TGR}$). Hierbij worden twee verschillende berekeningsmethoden op basis van verschillende metingen (gasconcentraties versus windsnelheid) vergeleken die allebei door ILVO uitgevoerd zijn.

De gemiddelde resultaten uit deze vergelijkende analyses worden per locatie in Tabel 4.4 samengevat, en in Hoofdstuk 4.2.1 en 4.2.2 afzonderlijk besproken. Aanvullende informatie en visuele waarnemingen (tijdreeksen en Bland-Altman plots) worden in Uitbreiding D weergegeven.

Tabel 4.4: Per locatie, gemiddelde (over alle dagen met gelijktijdige ILVO- en WLR-data) ventilatiedebietratio's tussen enerzijds indirecte bepalingen via de tracergas ratiomethode (TGR; uitgevoerd door ILVO en WLR uitgevoerd) en anderzijds de directe en indirecte bepalingen door ILVO uitgevoerd).

Locatie	$V^{WLR,TGR}$ / $V^{ILVO,TGR}$	$V^{ILVO,TGR}$ / $V^{ILVO,direct}$
B1	0,87	0,78
B2	1,02	0,63
B3	0,88	0,80
B4	1,11	0,61

4.2.1 Indirecte tracergas ratiomethode ILVO ($V^{ILVO,TGR}$) versus Indirecte tracergas ratiomethode WLR ($V^{WLR,TGR}$)

Over de vier locaties heen geven indirecte bepalingen van het ventilatiedebiet volgens het tracergas ratiomethode (TGR) door WLR en ILVO gemiddeld vergelijkbare resultaten. Dit varieert tussen locaties van een 11% overschatting tot een 13% onderschatting (Tabel 4.4). Aangezien de indirecte bepaling van het ventilatiedebiet door ILVO en WLR gebaseerd is op dezelfde rekenregels en inputparameters (klimaat-, dier- en melkgegevens), blijft alleen het CO_2-concentratieverschil (uitgaande stallucht – ingaande (buiten)lucht) over als mogelijke oorzaak voor de verschillen in ventilatiedebiet. Dit is in Hoofdstuk 4.1 (aangevuld met informatie over concentratieverschillen in Uitbreiding C) besproken. Het gebruik van een minimale ΔCO_2 door WLR (om rekening te houden met de nauwkeurigheid van de gebruikte sensoren; zie Hoofdstuk 2.3.1 bij Mosquera e.a., 2026) leidt tot een duidelijk verschil op de hoge ventilatiedebieten (boven 5000 m^3/h/dier; zie Uitbreiding D). Bijgevolg is het belangrijk om verder te onderzoeken of deze minimale ΔCO_2-waarde relevant is en wat dan de meest correcte numerieke waarde hiervoor is.

4.2.2 Directe methode ILVO ($V^{ILVO,direct}$) versus Indirecte tracergas ratiomethode ILVO ($V^{ILVO,TGR}$)

In dit geval zijn de ventilatiedebieten op een volledig andere wijze bepaald en kan het verschil niet naar de gemeten concentraties herleid worden. **Over de vier locaties heen zijn de indirecte bepalingen van het ventilatiedebiet volgens de tracergas ratiomethode (TGR, door ILVO uitgevoerd) gemiddeld 30% lager dan via de directe ILVO-bepalingen (Tabel 4.4).** Dit varieert per locatie en niveau van het ventilatiedebiet. Hieronder worden enkele mogelijke verklaringen voor de verschillen tussen de methoden besproken:

1. **Tijdschaal:** de berekende waarden voor de TGR-methode zijn bepaald op dag-basis, terwijl de directe methode het ventilatiedebiet op uur-basis zijn bepaald.
2. **Dataselectie:** voor de directe methode kunnen enkel metingen gebruikt worden waarvoor aan bepaalde voorwaarden voldaan wordt (bijvoorbeeld gesloten poorten in de stal). Hierdoor kan de hoeveelheid bruikbare data voor de directe methode sterk variëren van dag tot dag en verschillen ten opzichte van de TGR-methode (zie Figuur D5 in Uitbreiding D).
3. **Methode:** Bij de TGR-methode worden de ventilatiedebieten bepaald op basis van metingen van de CO_2-concentraties binnen en buiten de stal. In de directe methode wordt er gebruik gemaakt van windsnelheidsmetingen aan de zijopeningen en in de nok van de stal.
4. **Nauwkeurigheid:** De nauwkeurigheid van de TGR-methode wordt bepaald door de nauwkeurigheid van de CO_2-concentratiemetingen, precisie van de inputparameters (zoals diergewicht) en de correctheid van het model dat de CO_2-productie bepaald. Voor de nauwkeurigheid van de directe methode is zowel de precisie van de windsnelheidsmetingen als het aantal beschikbare uren (zie Figuur D5 in Uitbreiding D) van belang.

Een belangrijk deel van het gevonden verschil kan toegeschreven worden aan de nauwkeurigheid van het toegepaste CO_2-productiemodel voor melkvee. Recente publicaties van Kjeldsen et al. (2024) en Schep et al. (2025) waarin gemeten CO_2-producties zijn vergeleken met het CIGR-model, wijzen erop dat het hier toegepaste CIGR-model de CO_2-productie met ca. 20% systematisch onderschat. In hoeverre daarnaast de andere hierboven genoemde factoren een rol hebben gespeeld kan dit onderzoek niet kwantitatief worden afgeleid

4.3 NH_3- en CH_4-emissies

In dit hoofdstuk worden de verschillende methoden die door ILVO, WLR en TNO zijn gebruikt om de NH_3- en CH_4-emissies te bepalen, waar mogelijk, met elkaar vergeleken. Dit betreft de volgende analyses:

1. Indirecte tracergas ratiomethode ILVO ($E^{ILVO,TGR}$) versus Indirecte tracergas ratiomethode WLR ($E^{WLR,TGR}$). Hierbij wordt dus eenzelfde berekeningswijze toegepast, maar met verschillende concentraties, bepaald door verschillende meetinstanties.
2. Directe methode ILVO ($E^{ILVO,direct}$) versus Indirecte tracergas ratiomethode ILVO ($E^{ILVO,TGR}$). Hierbij wordt een andere berekeningswijze toegepast, maar met concentraties gemeten door eenzelfde analyzer.
3. Directe methode ILVO ($E^{ILVO,direct}$) versus Remote sensing TNO ($E^{TNO,remote}$). Hierbij worden twee verschillende berekeningsmethoden op basis van verschillende metingen vergeleken.

De gemiddelde resultaten uit deze vergelijkende analyses worden per locatie in Tabel 4.5 samengevat. Mogelijke oorzaken voor de verschillen tussen methoden worden in Hoofdstuk 4.3.1 t/m 4.3.3 afzonderlijk besproken. Aanvullende informatie en visuele waarnemingen (tijdreeksen, Bland-Altman plots, pluimmetingen) worden in Uitbreiding E weergegeven.

Tabel 4.5: Per locatie, gemiddelde (over alle dagen met gelijktijdige ILVO- en WLR-data) ratio's van de NH_3– en CH4-emissie berekend op basis van directe bepalingen (direct, door ILVO uitgevoerd) of indirecte bepalingen via de tracergas ratiomethode (TGR; door zowel ILVO als WLR uitgevoerd). n.b.: niet gemeten, data niet beschikbaar.

Locatie	$E^{WLR,TGR}$ / $E^{ILVO,TGR}$		$E^{ILVO,TGR}$ / $E^{ILVO,direct}$	
	NH_3	CH_4	NH_3	CH_4
B1	1,29	n.b.	0,79	0,78
B2	1,24	1,32	1,02	0,95
B3	1,49	0,96	1,07	0,95
B4	1,40	0,87	0,76	0,74

4.3.1 Vergelijking indirecte TGR-methoden ILVO ($E^{ILVO,TGR}$) versus WLR ($E^{WLR,TGR}$)

De **NH_3-emissies** die door ILVO gemeten zijn, liggen voor alle meetlocaties lager dan bij WLR. Bij de **CH_4-emissies** zijn de resultaten niet consistent, met soms hogere en soms lagere emissies bij de ILVO-metingen ten opzichte van de WLR-metingen (Tabel 4.5).

Bij het bepalen van de NH_3- en CH_4-emissies volgens de indirecte tracergas ratiomethode (TGR) kunnen de volgende punten een afwijking tussen de resultaten van ILVO en WLR veroorzaken:

1. **Ventilatiedebiet**: zoals aangegeven in Hoofdstuk 4.2 gebruiken WLR en ILVO dezelfde rekenregels en inputparameters (klimaat-, dier- en melkgegevens). Verschillen tussen de ventilatieberekeningen van ILVO en WLR zijn daardoor veroorzaakt door het CO_2-concentratieverschil (uitgaande stallucht – ingaande (buiten)lucht), gerelateerd aan het gebruik van verschillende meetinstrumenten, kalibratieprocedures en monsternamepositie van de ingaande (buiten)lucht.

2. **Concentratieverschil (uitgaande stallucht – ingaande (buiten)lucht) voor NH_3 en CH_4.** De resultaten in Hoofdstuk 4.1.4 laten zien dat voor NH_3 het concentratieverschil dat door WLR gemeten is, hoger ligt dan de door ILVO gemeten waarden. Voor CH_4 waren de concentratieverschillen bij de ILVO- en WLR-metingen over het algemeen redelijk vergelijkbaar.

4.3.2 Directe methode ILVO ($E^{ILVO,direct}$) versus indirecte TGR-methode ILVO ($E^{ILVO,TGR}$)

Bij het vergelijken van de **NH_3-emissies** met de door ILVO uitgevoerde indirecte en directe methoden valt vooral het verschil tussen stallen B1 en B4 enerzijds en B2 en B3 anderzijds op. Bij locaties B1 en B4 liggen de emissies die bepaald zijn met de directe methode aanzienlijk hoger dan de emissies die bepaald zijn met de indirect methode. Voor stallen B2 en B3 is er daarentegen een redelijke overeenkomst tussen de resultaten. Er is geen verklaring gevonden voor deze verschillen tussen locaties.

Net als voor de NH_3-emissies is er voor de resultaten van de **CH_4-emissies** een mogelijke opdeling tussen locaties: B1 en B4 enerzijds en B2 en B3 anderzijds. Hierbij lijken de resulterende emissies bij de directe en indirecte methode gelijkwaardig te zijn bij B2 en B3, terwijl de emissies bepaald met de directe methode merkbaar hoger liggen voor stallen B1 en B4.

Bij het bepalen van de NH_3- en CH_4-emissies volgens de directe methode (direct; alleen door ILVO uitgevoerd) en de indirecte tracergas ratiomethode (TGR; door ILVO uitgevoerd) kunnen de volgende punten een afwijking tussen de methoden (direct versus TGR) veroorzaken:

1. **Ventilatiedebiet**. In Hoofdstuk 4.2.2 zijn de belangrijkste verschillen tussen de directe methode en de TGR-methode besproken. Hoewel er variatie is tussen de verschillende meetlocaties, blijkt dat de indirecte bepalingen van het ventilatiedebiet (TGR) gemiddeld aanzienlijk lager zijn dan bij de directe bepalingen. Een belangrijk deel van dit verschil komt overeen met de in recente studies waargenomen systematische onderschatting van de CO_2-productie door het CIGR-model in de TGR-methode.
2. **Meetlocatie**. Voor de directe en indirecte methoden worden de concentratiemetingen die gebruikt worden om emissies te berekenen op verschillende posities bepaald. Voor de TGR-methode worden de metingen centraal in de stal gecombineerd met de buitenmetingen, terwijl er bij de directe methode wordt gekeken naar de concentraties van de in- en uitgaande lucht vlak bij de zijopeningen (zie Hoofdstuk 3.4)

4.3.3 Directe methode ILVO ($E^{ILVO,direct}$) versus Remote sensing TNO ($E^{TNO,remote}$)

Op drie van de vier meetlocaties (de uitzondering was meetlocatie B1) is een test met de remote sensing methode van TNO uitgevoerd om de emissies van NH_3 en CH_4 (gedurende de periode waarin de metingen zijn uitgevoerd) te bepalen. Om een indicatie te krijgen van de verschillen tussen de remote sensing aanpak en een emissiebepaling in de stal, is voor de

directe methode gekozen. Voor deze vergelijking zijn met de directe methode gemiddelde emissieniveaus bepaald in de uren voor en na de metingen van TNO. Om verschillende redenen was het niet mogelijk om op meetlocaties B2 en B4 resultaten voor de directe methode te verkrijgen gelijktijdig met de TNO-methode. Voor meetlocatie B3 is er wel gelijktijdig met beide methoden gemeten.

De mobiele metingen werden voor deze bedrijven sterk beïnvloed door nabijgelegen emissiebronnen. Bij de mobiele ritten werd niet uitsluitend de bijdrage van de bemeten stal aan de concentraties op de weg gezien, maar andere nabijgelegen emissiebronnen droegen ook sterk bij aan het gemeten beeld. Dat dit de dominante onzekerheid is in de bepaling van de emissiewaarden werd bevestigd door de metingen aan bedrijf B2. Bij B2 zijn de mobiele meetritten (vanwege draaien van de wind) uitgevoerd op verschillende afstanden van de stal.

Om de bijdrage van de bemeten stal te scheiden van de andere emissiebijdragen is gebruikgemaakt van de gelijktijdig uitgestoten lachgastracer. De breedte van de concentratiepluim van de tracer is gebruikt om binnen de gemeten pluim het deel te selecteren dat daadwerkelijk aan de bemeten stal kan worden toegeschreven. Deze aanpak resulteerde in emissieschattingen van CH_4 die binnen de onzekerheid overeenkwamen met de door ILVO bepaalde emissiewaarden (Tabel 4.6) en emissiewaarden van NH_3 met een wat grotere afwijking. Voor NH_3 gaat het echter om zeer kleine emissiewaarden < 0.1 g/s en verschillen van ~0.01 g/s, hierdoor is bij een kleine absolute afwijking de relatieve afwijking al gauw groter dan bij methaan, waarvoor waarden ter grootte van enkele g/s worden gemeten.

Naast de extra onzekerheden door het scheiden van de bijdragen van andere bronnen, kunnen bij het bepalen van de NH_3- en CH_4-emissies volgens de directe ILVO-methode en de remote sensing methode van TNO ook de volgende punten een afwijking tussen de resultaten veroorzaken:

1. **Afstand tot emissiebron**. Wanneer bij de remote sensing methode van TNO, niet ver genoeg van de bron gereden kan worden, kan niet aangenomen worden dat de dispersie van de emissiepluim van de tracer vergelijkbaar is met die van de volle breedte van de te bemeten stal. Dit probleem kan mogelijk opgelost worden door meerdere tracers naast het te bemeten object te plaatsen. Bij de metingen aan de bedrijven B2 en B4 speelde dit geen rol. Bij B3 heeft het mogelijk een extra onzekerheid opgeleverd.
2. **Tijdsverschil**. Bij de directe ILVO-methode kan maximaal een enkele emissiewaarde per uur berekend worden. Deze berekende waarde wordt bepaald op basis van metingen die op verschillende momenten gedurende dat uur uitgevoerd zijn. De resultaten van de remote sensing methode van TNO worden bepaald aan de hand van ritten met een meetwagen door de concentratiepluim afkomstig van de stal (en mogelijk ook andere emissiebronnen). Aangezien elke rit slechts enkele minuten

duurde, is er steeds een verschil in de timing van de emissies die door beide methoden is bepaald.

Tabel 4.6: Per locatie, ratio van gemiddelde NH_3- en CH_4-emissie berekend op basis van directe bepalingen (direct, door ILVO uitgevoerd) en de remote sensing-methode (remote; door TNO uitgevoerd). n.b.: niet gemeten, data niet beschikbaar.

Locatie	$E^{TNO,remote}$ / $E^{ILVO,direct}$	
	CH_4	**NH_3**
B1	n.b.	n.b.
B2	0,85*	1,26*
B3	1,06	0,71
B4	0,92*	1,57*

**omdat er geen gelijktijdige metingen beschikbaar waren, werd voor $E^{ILVO,direct}$ de gemiddelde waarde van een periode rond de metingen van TNO gebruikt (zie Figuur E10 en Figuur E11, en Tabel E2).*

5 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen van dit onderzoek samengevat. Het betreft het onderzoek dat door ILVO, WLR en TNO is uitgevoerd om verschillende meetmethoden (en instrumenten) voor het bepalen van de emissies van NH_3 en CH_4 uit natuurlijk geventileerde stallen met elkaar te vergelijken. De metingen zijn in de periode 04/11/2022-01/11/2024 uitgevoerd op vier traditionele Vlaamse melkveestallen. De geteste meetmethoden waren een directe meetmethode geïmplementeerd door ILVO, een indirecte meetmethode (tracergas ratiomethode, TGR) geïmplementeerd door zowel ILVO als WLR, en de remote sensing methode van TNO. Aangezien door de verschillende meetinstanties ook verschillende meetinstrumenten zijn toegepast, werd eerst naar verschillen in concentratiemetingen gekeken. Vervolgens werden de verschillende manieren om het ventilatiedebiet te bepalen (directe ILVO-methode, indirecte TGR-methode van ILVO en WLR) onderzocht.

Concentraties

In dit onderdeel is gekeken naar de concentraties die door ILVO en WLR is gemeten in zowel de uitgaande stallucht en de ingaande buitenlucht. Wat betreft de **uitgaande stallucht**, werden voor **NH_3** grote verschillen gevonden tussen beide instellingen (met over het algemeen hogere concentratiewaarden voor WLR ten opzichte van ILVO). Dit verschil werd voornamelijk teruggeleid tot een verschil in kalibratieprocedure tussen beide instellingen. Zo gebruikte ILVO labkalibraties bij VITO gevolgd door controles op het terrein met gasflessen en met nat-chemische metingen en WLR een labkalibratie gevolgd door een veldkalibratie met nat-chemische metingen. Daarnaast is er sprake van een systematisch verschil tussen het SRM-niveau van WLR en ILVO. Het is raadzaam om zowel het verschil tussen beide SRM-methodes nader te onderzoeken als veldkalibraties voor ammoniak en het effect ervan op de correctie van de meetdata kritisch te bekijken, gezien het grote effect van deze correctie op de uiteindelijk bekomen ammoniakconcentraties.

De CO_2- en CH_4-stalconcentratiemetingen verschilden minder tussen de twee instellingen. De verschillen in CO_2-concentraties waren bij één locatie te herleiden naar sensoren die drift vertoonden.

Voor CH_4 en NH_3 werden de concentraties in de **ingaande buitenlucht** door WLR niet continu gemeten, maar werden er discontinue metingen met een standaard referentiemethode (SRM) gebruikt. Deze waarden waren over het algemeen vergelijkbaar of lager dan de waarden van de continue metingen van ILVO. De CO_2-concentratie in de ingaande buitenlucht werd wel door beide instellingen continu bemeten. De verschillen hierin tonen aan dat de monsternamestrategie voor concentratiemetingen in de ingaande lucht heel belangrijk is. ILVO mat onder de dakgoot van de melkveestal meestal met een verzamelleiding, terwijl WLR met een enkele sensor boven de dakgoot mat in het centrum van de stallengte. Ook de verschillen in kalibratieprocedure spelen hier een rol. Verder onderzoek lijkt hier nodig om de

optimale monsternamestrategie (positionering van meetpunten/meetleidingen; kalibratieprocedure) te bepalen. Daarnaast was het ook duidelijk uit de continue metingen dat er heel veel variatie in concentraties aanwezig was in de buitenlucht.

Ventilatiedebiet

Wanneer de indirecte TGR-methoden voor de bepaling van het ventilatiedebiet met elkaar vergeleken werden (zoals door ILVO en WLR zijn toegepast), waren er goede overeenkomsten te zien voor alle stallen. De afwijkingen waren vooral te vinden bij hoge ventilatiedebieten. Dit kwam door 1) het concentratieverschil (stallucht – buitenlucht) die voor anders was voor beide meetinstanties, en 2) het gebruik van een minimaal CO_2-concentratieverschil tussen binnen en buiten door WLR (om rekening te houden met de nauwkeurigheid van de sensoren), dit werd niet geïmplementeerd door ILVO.

Er is een duidelijk verschil geconstateerd tussen de directe en indirecte ILVO-methoden, voor wat de ventilatiedebieten betreft, met gemiddeld 30% lagere waarden voor de indirecte TGR-methode ten opzichte van de directe methode. Een belangrijk deel van dit verschil komt overeen met de in recente studies waargenomen systematische onderschatting van de CO_2-productie door het CIGR-model in de TGR-methode. De tijdschaal van de metingen (uurwaarden voor de directe methode; dagwaarden voor de indirecte methode), berekeningsmethodiek en positionering van de meetpunten/meetleidingen, en nauwkeurigheid van de methoden voor hoge en lage debieten (er zijn aanwijzingen dat lagere ventilatiedebieten minder nauwkeurig te bepalen zijn dan hogere debieten met de directe methode; voor de indirecte methode is dit juist andersom, door kleine concentratieverschillen bij hogere debieten) zijn eveneens als mogelijke verklaringen voor deze verschillen benoemd. Op basis van de beschikbare data kon dit niet worden bevestigd en dient dit verder onderzocht te worden.

Emissies

Bij de vergelijking van de indirecte methoden voor NH_3-emissies viel op dat de resultaten van de ILVO-methode lager waren dan bij de WLR-methode. Dit heeft voornamelijk te maken met het NH_3-concentratieverschil (uitgaande stallucht – ingaande (buiten)lucht), dat voor alle meetlocaties gemiddeld 0,5 ppm groter was bij WLR dan bij ILVO. Voor methaan was het verhaal complexer. Voor stal B2 mat WLR hoger dan ILVO, voor stal B3 waren de emissiewaarden ongeveer gelijk en voor stal B4 mat ILVO hoger dan WLR.

De vergelijking van de directe methode met de indirecte methode blijkt, ondanks de zorgvuldig opgebouwde voorgaande analyses, complex. Dit is gerelateerd aan het feit dat de rekenmethoden fundamenteel van elkaar verschillen. De resultaten waren niet consistent (soms hogere en soms lagere emissies bij de directe ten opzichte van de indirecte methode), waardoor geen hardere conclusies kunnen worden getrokken.

De emissiewaarden gevonden met de pluimmetingen zijn, na correctie voor andere bronbijdragen, vergelijkbaar met de waarden van ILVO. Door het beperkt aantal gelijktijdige metingen, was het niet mogelijk om de vergelijking op precies dezelfde tijdstippen uit te voeren. Verdere verfijning van de remote meetmethode is wenselijk om de onzekerheden in de geschatte waarden te verkleinen.

Aanbevelingen

- Afstemming van of minimaal transparantie rond de kalibratie- en kwaliteitsprocedures bij het uitvoeren van metingen op stallen, zeker voor het bepalen van NH_3-concentraties.
- Vergelijking van SRM-methodes voor NH_3-concentraties.
- Geadviseerd wordt om te onderzoeken of continu meten van de ingaande luchtconcentraties (van niet alleen CO_2, maar ook NH_3 en CH_4) toegepast moet worden (en zo ja, hoe dit in praktijk uitgevoerd moet worden), om rekening te houden met de grote fluctuaties in deze concentraties.
- Het al dan niet gebruiken van minimale verschil CO_2-concentraties binnen en buiten bij toepassing van de TGR-methode standaardiseren.
- Verdere verfijning van de remote metingen om de onzekerheid in het geval van meerdere bronbijdragen te verkleinen.

Literatuur

Declerck, A., Coorevits K., Laanen, L., Peeters, Q., Van den Bossche, T., Vandenbussche, C., Brusselman, E. (2025) Meetcampagne voor de bepaling van de ammoniakemissies van een traditionele melkveestal. ILVO Mededeling D/2025/06. p. 83. https://ilvo.vlaanderen.be/uploads/documents/Meetrapport-ammoniakemissie-traditionele-melkveestal_finaal_digital.pdf

Declerck, A., Peeters, Q., Coorevits K., Laanen, L., Brusselman, E. (2026) Meetcampagne voor de bepaling van de methaanemissies van een traditionele melkveestal. ILVO Mededeling D/2026/04. p. 45.

Kjeldsen, M. H., Johansen, M., Weisbjerg, M. R., Hellwing, A. L. F., Bannink, A., Colombini, S., Crompton, L., Dijkstra, J., Eugène, M., Guinguina, A., Hristov, A. N., Huhtanen, P., Jonker, A., Kreuzer, M., Kuhla, B., Martin, C., Moate, P. J., Niu, P., Peiren, N., Reynolds, C., Williams, S.R.O., Lund, P. (2024). Predicting CO_2 production of lactating dairy cows from animal, dietary, and production traits using an international dataset. Journal of Dairy Science, 107(9), 6771–6784. https://doi.org/10.3168/jds.2023-24414

Mosquera, J., Ploegaert, J.P.M., Kupers, G.C.C. (2019). Determination of ammonia concentrations in air from livestock housing systems. Reference method using gas washing as applied by Wageningen Livestock Research. Wageningen Livestock Research Rapport 1187.

Mosquera, J., Ploegaert, J.P.M., Kupers, G.C.C. (2020). Determination of carbon dioxide concentrations in air from livestock housing systems. Reference method using the lung method as applied by Wageningen Livestock Research. Wageningen Livestock Research Rapport 1284.

Mosquera, J., Huis in 't Veld, J.W.H., Hol, J.M.G. (2026). Ammoniak- en methaanemissie uit vier gangbare ligboxenstallen voor melkvee in Vlaanderen. Wageningen Lifestock Research, Rapport 1601.

Pedersen, S., Sällvik, K. Editors (2002). 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels.

Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Heetkamp, M.J.W., Aarnink, A.J.A. (2008). Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. Agricultural Engineering International: CIGR E journal. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December, 2008.

Schep, C.A., Levraut, C.M., Ogink, N.W.M. (2025). Praktijkvalidatie van het CIGR-model voor CO2-productie in stallen met lacterende HF-melkkoeien. Wageningen Livestock Research Rapport 1592. https://doi.org/10.18174/700580

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

WAC. (2012). WAC/III/E/021 Bepaling van het gehalte aan ammonium stikstof met behulp van doorstroomanalyse Compendium voor de monsterneming, meting en analyse van water. Mol, Belgium.

Winkel, A., Brusselman, E., Hensen, A., Otten, G., Vonk, J., Laanen, L., Verfaillie, A., van Dinther, D., Mosquera, J., & Ogink, N. (2024). Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen: Guidelines for determination of emissions from livestock barns. WLR Rapport 1470.

Uitbreiding A Resultaten standaard referentiemetingen (SRM) ILVO

Tabel A-1: Gemiddelde NH_3-concentratie van de nat-chemische (NC) analyses van ILVO en de gemiddelde NH_3-concentratie gemeten door de analyzers van ILVO met het absoluut en relatief (absoluut verschil over nat-chemische concentratie) verschil tussen beide waarden (relatief verschil >20% in rood aangeduid).

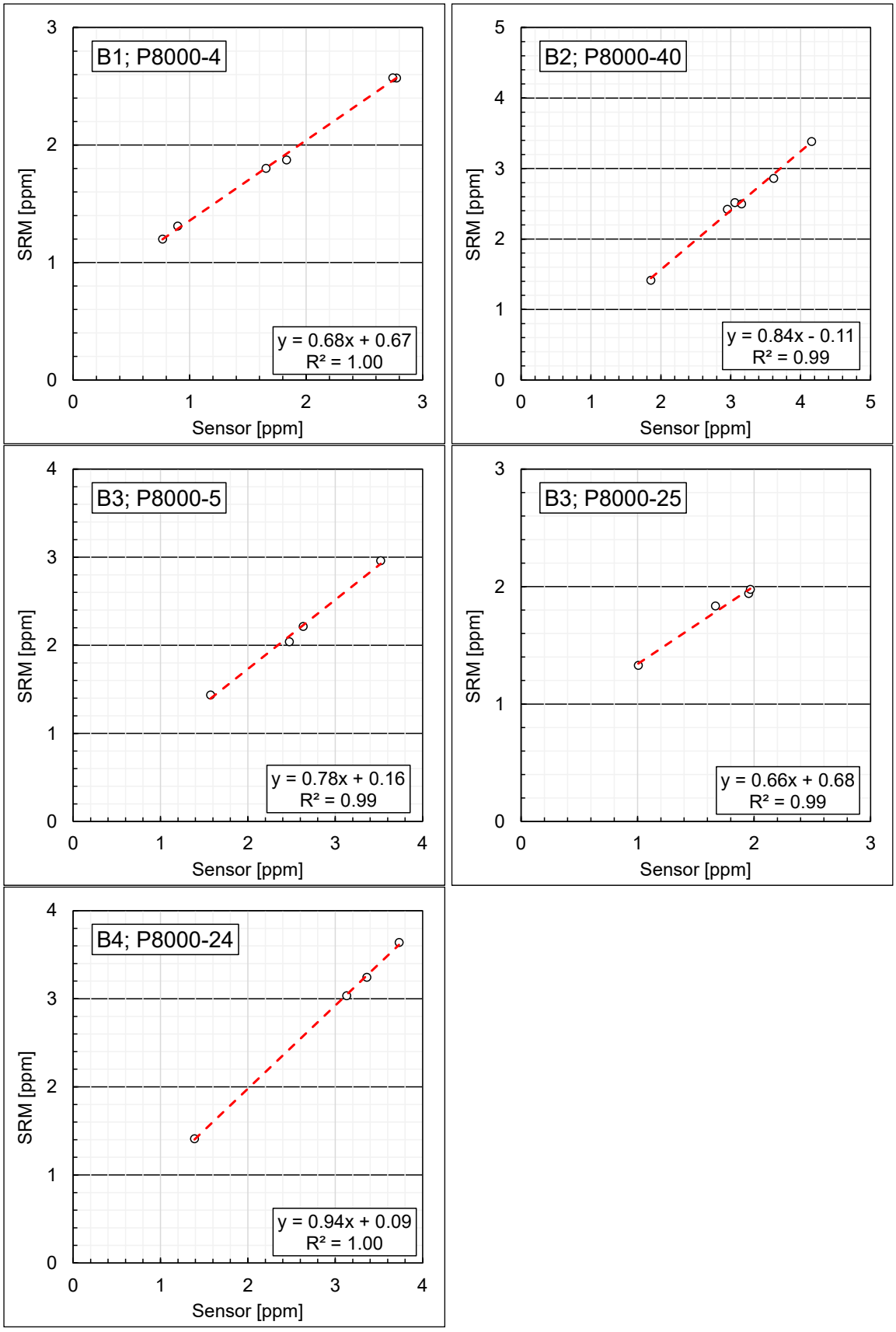
Stal	Datum	Gemiddelde concentratie NC (ppm)	Gemiddelde concentratie analyzer (ppm)	Absoluut verschil (ppm)	Relatief verschil (%)
B1	**13/11/2023**	0,49	0,50	0,01	2,04
B1	**24/07/2024**	2,75	3,30	0,55	20,00
B1	**15/10/2024**	1,23	1,38	0,15	12,20
B2	**24/10/2023**	2,03	2,14	0,11	5,42
B2	**19/03/2024**	2,36	2,47	0,1	4,66
B2	**18/06/2024**	1,76	1,80	0,04	2,27
B2	**06/08/2024**	2,40	2,43	0,03	1,25
B2	**22/10/2024**	2,39	2,51	0,12	5,02
B2	**05/11/2024**	2,26	2,37	0,11	4,87
B3	**20/02/2024**	1,02	1,17	0,15	14,71
B3	**16/04/2024**	1,79	1,72	-0,07	-3,91
B3	**11/06/2024**	1,56	1,44	-0,12	-7,69
B3	**21/08/2024**	1,45	1,27	-0,18	-12,41
B3	**08/10/2024**	1,73	1,42	-0,31	-17,92
B3	**12/11/2024**	1,58	1,61	0,03	1,90
B4	**12/12/2023**	2,75	2,70	-0,05	-1,82
B4	**20/02/2024**	1,23	1,05	-0,18	-14,63
B4	**21/08/2024**	2,66	2,83	0,17	6,39
B4	**07/10/2024**	1,95	2,07	0,12	6,15
B4	**17/10/2024**	2,66	2,92	0,26	9,77

Uitbreiding B Resultaten standaard referentiemetingen (SRM) WLR en validatie sensoren

In deze Uitbreiding worden de resultaten van de door WLR uitgevoerde standaard referentiemetingen (SRM) per component (NH_3, CH_4, CO_2) en monsternamepositie (stallucht, ingaande lucht (zuid)westelijke kant, ingaande lucht (noord)oostelijke kant) weergegeven. In de tabellen worden ook de sensor-concentraties (gemiddeld over de periode waar de SRM zijn uitgevoerd) gerapporteerd. Aanvullend zijn, voor de posities waar continue sensoren zijn geplaatst en minimaal 3 referentiemetingen zijn uitgevoerd, de regressielijnen voor de validatie van die sensoren grafisch weergegeven.

Tabel B.1: Standaard referentiemetingen (SRM) en sensorwaarden voor de stallucht NH_3. Alle SRM- en sensorconcentraties in ppm. n.b.: data niet beschikbaar. Sensor_nr: sensornummer. Sensor_conc: sensorconcentratie.

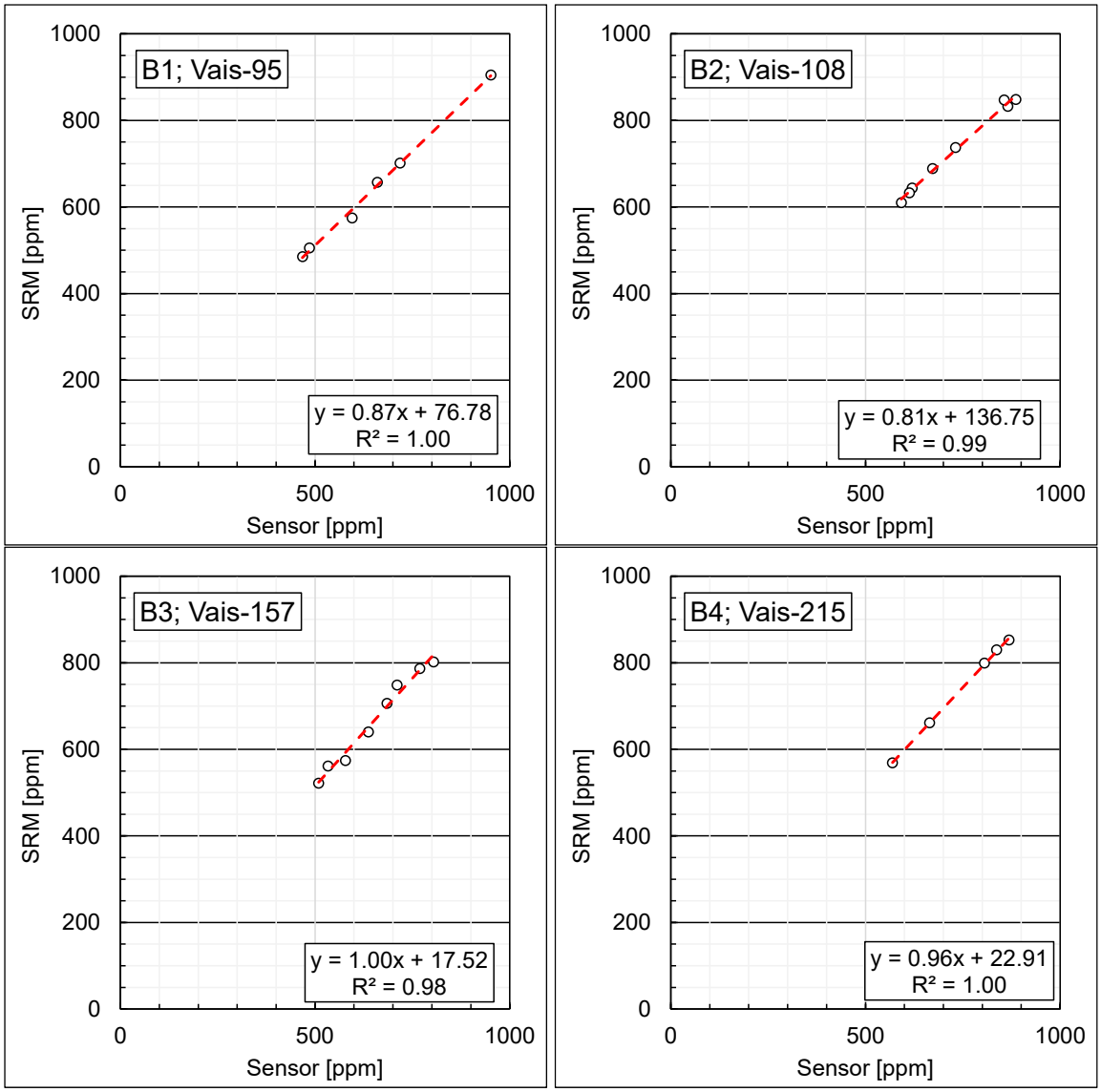
Meetlocatie	Begintijd	Eindtijd	SRM_1	SRM_2	SRM_Gem	Sensor_nr	Sensor_conc
B1	20-12-2022 13:34	21-12-2022 10:34	1,3	1,3	1,3	P8000-4	0,9
	28-2-2023 12:43	1-3-2023 10:15	1,9	1,8	1,9	P8000-4	1,8
	9-5-2023 12:20	10-5-2023 10:00	2,6	2,6	2,6	P8000-4	2,8
	12-7-2023 10:25	13-7-2023 10:25	1,8	1,8	1,8	P8000-4	1,7
	13-9-2023 10:48	14-9-2023 10:48	2,6	2,6	2,6	P8000-4	2,7
	13-11-2023 11:00	14-11-2023 11:00	1,2	1,2	1,2	P8000-4	0,8
	27-2-2024 10:39	28-2-2024 10:39	0,7	0,7	0,7	P8000-53	0,9
B2	22-2-2023 12:21	23-2-2023 12:21	2,5	2,5	2,5	P8000-40	3,1
	18-4-2023 11:07	19-4-2023 10:25	1,4	1,4	1,4	P8000-40	1,9
	20-6-2023 12:25	21-6-2023 11:20	2,8	2,9	2,9	P8000-40	3,6
	22-8-2023 12:52	23-8-2023 12:26	3,2	3,5	3,4	P8000-40	4,2
	24-10-2023 13:45	25-10-2023 13:30	2,5	2,3	2,4	P8000-40	3,0
	5-12-2023 12:55	6-12-2023 12:55	n.b.	2,5	2,5	P8000-40	3,2
	19-3-2024 13:35	20-3-2024 13:12	2,8	2,1	2,4	P8000-51	2,5
	18-6-2024 12:36	19-6-2024 12:30	n.b.	2,2	2,2	P8000-51	1,7
B3	6-6-2023 12:45	7-6-2023 10:55	2,2	2,2	2,2	P8000-5	2,6
	15-8-2023 14:35	16-8-2023 14:08	3,2	2,7	3,0	P8000-5	3,5
	10-10-2023 13:55	11-10-2023 13:05	1,4	1,4	1,4	P8000-5	1,6
	12-12-2023 16:33	13-12-2023 16:33	2,0	2,1	2,0	P8000-5	2,5
	20-2-2024 14:15	21-2-2024 13:15	1,2	1,4	1,3	P8000-25	1,0
	16-4-2024 13:40	17-4-2024 13:00	1,9	2,0	1,9	P8000-25	2,0
	11-6-2024 13:27	12-6-2024 12:57	1,8	1,8	1,8	P8000-25	1,7
	21-8-2024 13:55	22-8-2024 12:48	2,0	2,0	2,0	P8000-25	2,0
B4	12-12-2023 15:11	13-12-2023 14:37	2,9	2,9	2,9	P8000-10	1,7
	20-2-2024 12:50	21-2-2024 11:40	1,4	1,4	1,4	P8000-24	1,4
	16-4-2024 12:00	17-4-2024 11:20	3,6	3,7	3,6	P8000-24	3,7
	11-6-2024 11:40	12-6-2024 11:20	3,2	3,3	3,2	P8000-24	3,4
	21-8-2024 12:33	22-8-2024 11:45	3,0	3,0	3,0	P8000-24	3,1
	28-10-2024 12:30	29-10-2024 12:45	1,7	1,7	1,7	P8000-24	n.b.



Figuur B.1: Per meetlocatie en sensor, regressielijn voor de validatie van NH_3-sensormetingen in de praktijk met behulp van gelijktijdige metingen met de standaard referentiemethode (SRM).

Tabel B.2: Standaard referentiemetingen (SRM) en sensorwaarden voor de stallucht CO_2. Alle SRM- en sensorconcentraties in ppm. n.b.: data niet beschikbaar. Sensor_nr: sensornummer. Sensor_conc: sensorconcentratie.

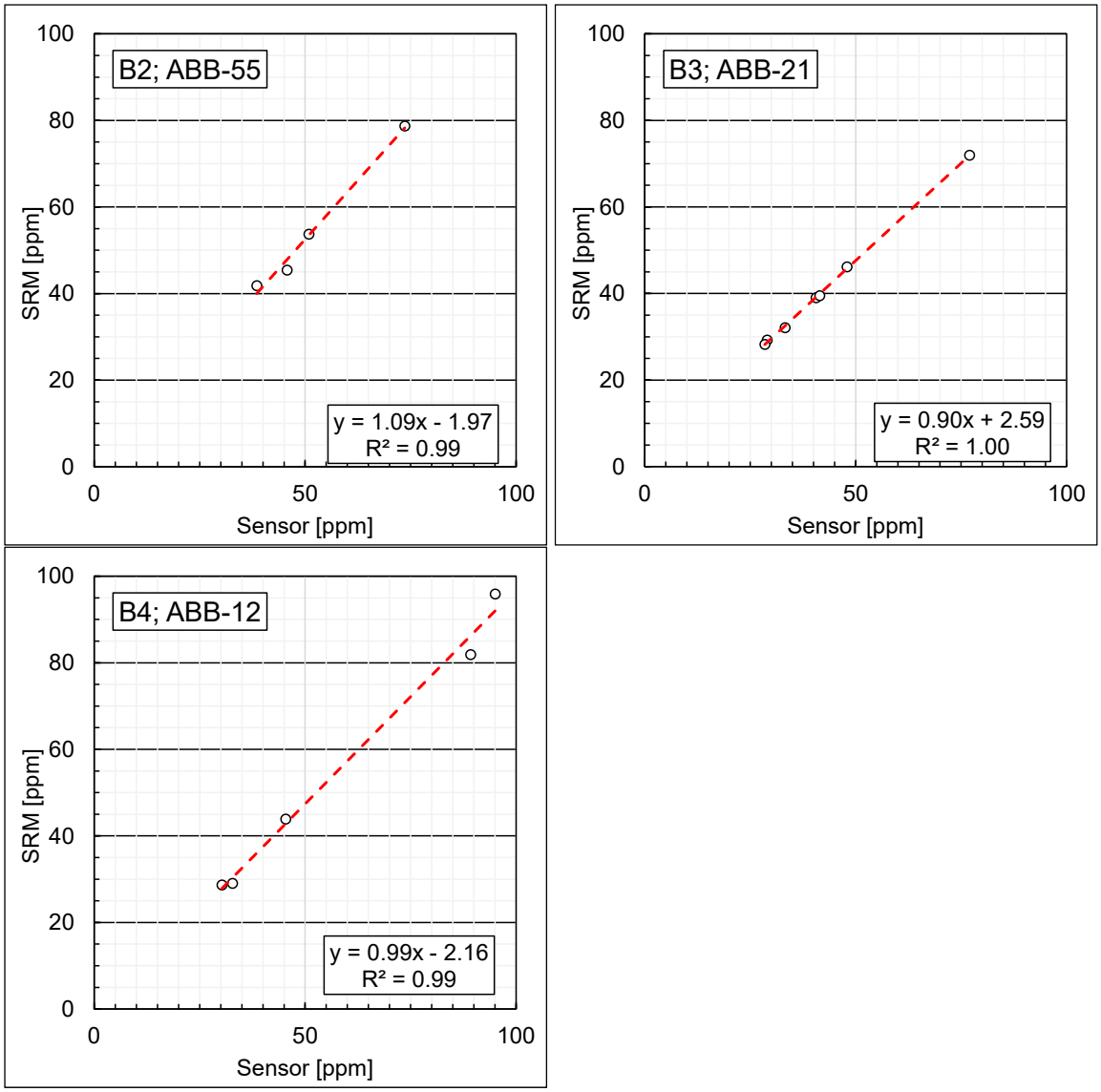
Meetlocatie	Begintijd	Eindtijd	SRM_1	SRM_2	SRM_Gem	Sensor_nr	Sensor_conc
B1	20-12-2022 13:34	21-12-2022 10:34	547	549	548	Vais-130	570
	28-2-2023 12:43	1-3-2023 10:15	904	905	905	Vais-95	951
	9-5-2023 12:20	10-5-2023 10:00	657	657	657	Vais-95	660
	12-7-2023 10:25	13-7-2023 10:25	505	506	505	Vais-95	485
	13-9-2023 10:48	14-9-2023 10:48	704	699	701	Vais-95	718
	13-11-2023 11:00	14-11-2023 11:00	482	489	485	Vais-95	468
	27-2-2024 10:39	28-2-2024 10:39	575	575	575	Vais-95	595
B2	22-2-2023 12:21	23-2-2023 12:21	843	854	848	Vais-108	886
	18-4-2023 11:07	19-4-2023 10:25	644	644	644	Vais-108	620
	20-6-2023 12:25	21-6-2023 11:20	612	608	610	Vais-108	592
	22-8-2023 12:52	23-8-2023 12:26	830	835	833	Vais-108	865
	24-10-2023 13:45	25-10-2023 13:30	689	689	689	Vais-108	672
	5-12-2023 12:55	6-12-2023 12:55	746	728	737	Vais-108	731
	19-3-2024 13:35	20-3-2024 13:12	846	849	848	Vais-108	856
	18-6-2024 12:36	19-6-2024 12:30	636	630	633	Vais-108	613
B3	6-6-2023 12:45	7-6-2023 10:55	751	747	749	Vais-157	710
	15-8-2023 14:35	16-8-2023 14:08	785	788	787	Vais-157	769
	10-10-2023 13:55	11-10-2023 13:05	562	560	561	Vais-157	533
	12-12-2023 16:33	13-12-2023 16:33	713	699	706	Vais-157	685
	20-2-2024 14:15	21-2-2024 13:15	576	572	574	Vais-157	578
	16-4-2024 13:40	17-4-2024 13:00	802	802	802	Vais-157	804
	11-6-2024 13:27	12-6-2024 12:57	641	639	640	Vais-157	637
	21-8-2024 13:55	22-8-2024 12:48	521	522	522	Vais-157	509
B4	12-12-2023 15:11	13-12-2023 14:37	855	851	853	Vais-215	869
	20-2-2024 12:50	21-2-2024 11:40	568	570	569	Vais-215	569
	16-4-2024 12:00	17-4-2024 11:20	828	831	830	Vais-215	837
	11-6-2024 11:40	12-6-2024 11:20	794	804	799	Vais-215	806
	21-8-2024 12:33	22-8-2024 11:45	654	669	661	Vais-215	665
	28-10-2024 12:30	29-10-2024 12:45	625	625	625	Vais-215	n.b.



Figuur B.2: Per meetlocatie en sensor, regressielijn voor de validatie van CO_2-sensormetingen in de praktijk met behulp van gelijktijdige metingen met de standaard referentiemethode (SRM).

Tabel B.3: Standaard referentiemetingen (SRM) en sensorwaarden voor de stallucht CH_4. Alle SRM- en sensorconcentraties in ppm. n.b.: data niet beschikbaar. Sensor_nr: sensornummer. Sensor_conc: sensorconcentratie.

Meetlocatie	Begintijd	Eindtijd	SRM_1	SRM_2	SRM_Gem	Sensor_nr	Sensor_conc
B1	20-12-2022 13:34	21-12-2022 10:34	29,6	30,1	29,8	n.b.	n.b.
	28-2-2023 12:43	1-3-2023 10:15	101,0	101,9	101,4	n.b.	n.b.
	9-5-2023 12:20	10-5-2023 10:00	51,7	51,0	51,3	n.b.	n.b.
	12-7-2023 10:25	13-7-2023 10:25	17,9	18,3	18,1	n.b.	n.b.
	13-9-2023 10:48	14-9-2023 10:48	54,7	53,3	54,0	n.b.	n.b.
	13-11-2023 11:00	14-11-2023 11:00	14,5	15,5	15,0	n.b.	n.b.
	27-2-2024 10:39	28-2-2024 10:39	30,2	30,6	30,4	n.b.	n.b.
B2	22-2-2023 12:21	23-2-2023 12:21	66,1	68,6	67,3	n.b.	n.b.
	18-4-2023 11:07	19-4-2023 10:25	25,7	25,9	25,8	n.b.	n.b.
	20-6-2023 12:25	21-6-2023 11:20	22,0	21,7	21,8	n.b.	n.b.
	22-8-2023 12:52	23-8-2023 12:26	59,5	60,8	60,1	n.b.	n.b.
	24-10-2023 13:45	25-10-2023 13:30	45,4	45,5	45,5	ABB-55	45,7
	5-12-2023 12:55	6-12-2023 12:55	54,9	52,6	53,7	ABB-55	50,9
	19-3-2024 13:35	20-3-2024 13:12	78,2	79,2	78,7	ABB-55	73,6
	18-6-2024 12:36	19-6-2024 12:30	42,6	41,0	41,8	ABB-55	38,5
B3	6-6-2023 12:45	7-6-2023 10:55	43,2	43,1	43,2	n.b.	n.b.
	15-8-2023 14:35	16-8-2023 14:08	42,1	50,2	46,2	ABB-21	48,0
	10-10-2023 13:55	11-10-2023 13:05	29,3	29,2	29,3	ABB-21	29,0
	12-12-2023 16:33	13-12-2023 16:33	40,2	37,9	39,0	ABB-21	40,6
	20-2-2024 14:15	21-2-2024 13:15	32,3	31,9	32,1	ABB-21	33,3
	16-4-2024 13:40	17-4-2024 13:00	72,0	71,9	71,9	ABB-21	77,0
	11-6-2024 13:27	12-6-2024 12:57	39,3	39,8	39,5	ABB-21	41,5
	21-8-2024 13:55	22-8-2024 12:48	28,8	27,7	28,3	ABB-21	28,5
B4	12-12-2023 15:11	13-12-2023 14:37	96,2	95,5	95,9	ABB-12	95,1
	20-2-2024 12:50	21-2-2024 11:40	28,9	29,2	29,0	ABB-12	32,8
	16-4-2024 12:00	17-4-2024 11:20	82,1	81,6	81,9	ABB-12	89,2
	11-6-2024 11:40	12-6-2024 11:20	43,4	44,3	43,9	ABB-12	45,4
	21-8-2024 12:33	22-8-2024 11:45	28,1	29,3	28,7	ABB-12	30,3
	28-10-2024 12:30	29-10-2024 12:45	30,4	30,0	30,2	ABB-12	n.b.



Figuur B.3: Per meetlocatie en sensor, regressielijn voor de validatie van CH_4-sensormetingen in de praktijk met behulp van gelijktijdige metingen met de standaard referentiemethode (SRM).

Tabel B.4: Standaard referentiemetingen (SRM) voor de ingaande (buiten)lucht aan de (zuid)westelijke kant voor NH_3. Alle SRM-concentraties in ppm. n.b.: data niet beschikbaar. Er zijn voor NH_3 geen sensoren in deze positie geplaatst.

Meetlocatie	Begintijd	Eindtijd	SRM_1	SRM_2	SRM_Gem
B1	20-12-2022 13:34	21-12-2022 10:34	0,37	0,37	0,37
	28-2-2023 12:43	1-3-2023 10:15	0,90	0,85	0,87
	9-5-2023 12:20	10-5-2023 10:00	0,35	0,35	0,35
	12-7-2023 10:25	13-7-2023 10:25	0,04	0,05	0,04
	13-9-2023 10:48	14-9-2023 10:48	0,63	0,69	0,66
	13-11-2023 11:00	14-11-2023 11:00	0,14	0,13	0,14
	27-2-2024 10:39	28-2-2024 10:39	0,12	0,12	0,12
B2	22-2-2023 12:21	23-2-2023 12:21	0,11	0,10	0,11
	18-4-2023 11:07	19-4-2023 10:25	0,08	0,08	0,08
	20-6-2023 12:25	21-6-2023 11:20	0,07	0,09	0,08
	22-8-2023 12:52	23-8-2023 12:26	0,19	0,19	0,19
	24-10-2023 13:45	25-10-2023 13:30	0,23	0,21	0,22
	5-12-2023 12:55	6-12-2023 12:55	0,39	0,39	0,39
	19-3-2024 13:35	20-3-2024 13:12	0,18	0,18	0,18
	18-6-2024 12:36	19-6-2024 12:30	0,27	0,27	0,27
B3	6-6-2023 12:45	7-6-2023 10:55	0,11	0,13	0,12
	15-8-2023 14:35	16-8-2023 14:08	0,37	0,40	0,38
	10-10-2023 13:55	11-10-2023 13:05	0,29	0,25	0,27
	12-12-2023 16:33	13-12-2023 16:33	0,29	0,28	0,29
	20-2-2024 14:15	21-2-2024 13:15	0,19	0,17	0,18
	16-4-2024 13:40	17-4-2024 13:00	0,31	0,30	0,30
	11-6-2024 13:27	12-6-2024 12:57	0,39	0,39	0,39
	21-8-2024 13:55	22-8-2024 12:48	0,34	0,27	0,30
B4	12-12-2023 15:11	13-12-2023 14:37	0,04	0,04	0,04
	20-2-2024 12:50	21-2-2024 11:40	0,08	0,04	0,06
	16-4-2024 12:00	17-4-2024 11:20	0,16	0,15	0,16
	11-6-2024 11:40	12-6-2024 11:20	0,12	0,12	0,12
	21-8-2024 12:33	22-8-2024 11:45	0,55	0,52	0,54
	28-10-2024 12:30	29-10-2024 12:45	0,04	0,05	0,05

Tabel B.5: Standaard referentiemetingen (SRM) en sensorwaarden voor de ingaande (buiten)lucht aan de (zuid)westelijke kant voor CO_2. Alle SRM- en sensorconcentraties in ppm. n.b.: data niet beschikbaar. Sensor_nr: sensornummer. Sensor_conc: sensorconcentratie.

Meetlocatie	Begintijd	Eindtijd	SRM_1	SRM_2	SRM_Gem	Sensor_nr	Sensor_conc
B1	20-12-2022 13:34	21-12-2022 10:34	482	482	482	Vais-9	403
	28-2-2023 12:43	1-3-2023 10:15	666	723	694	Vais-9	633
	9-5-2023 12:20	10-5-2023 10:00	484	484	484	Vais-9	394
	12-7-2023 10:25	13-7-2023 10:25	474	478	476	Vais-9	390
	13-9-2023 10:48	14-9-2023 10:48	586	577	582	Vais-9	500
	13-11-2023 11:00	14-11-2023 11:00	441	438	440	Vais-9	375
	27-2-2024 10:39	28-2-2024 10:39	463	523	493	Vais-9	418
B2	22-2-2023 12:21	23-2-2023 12:21	477	473	475	Vais-212	406
	18-4-2023 11:07	19-4-2023 10:25	471	475	473	Vais-212	461
	20-6-2023 12:25	21-6-2023 11:20	466	469	468	Vais-212	389
	22-8-2023 12:52	23-8-2023 12:26	531	528	530	Vais-212	425
	24-10-2023 13:45	25-10-2023 13:30	460	462	461	Vais-208	467
	5-12-2023 12:55	6-12-2023 12:55	491	494	493	Vais-208	454
	19-3-2024 13:35	20-3-2024 13:12	539	535	537	Vais-208	474
	18-6-2024 12:36	19-6-2024 12:30	487	484	486	Vais-208	427
B3	6-6-2023 12:45	7-6-2023 10:55	479	476	477	Vais-155	415
	15-8-2023 14:35	16-8-2023 14:08	515	517	516	Vais-155	439
	10-10-2023 13:55	11-10-2023 13:05	484	485	485	Vais-167	446
	12-12-2023 16:33	13-12-2023 16:33	496	490	493	Vais-167	452
	20-2-2024 14:15	21-2-2024 13:15	460	460	460	Vais-167	447
	16-4-2024 13:40	17-4-2024 13:00	486	489	487	Vais-167	475
	11-6-2024 13:27	12-6-2024 12:57	494	495	494	Vais-167	480
	21-8-2024 13:55	22-8-2024 12:48	n.b.	451	451	Vais-167	441
B4	12-12-2023 15:11	13-12-2023 14:37		467	467	Vais-37	503
	20-2-2024 12:50	21-2-2024 11:40	454	455	455	Vais-37	481
	16-4-2024 12:00	17-4-2024 11:20	458	456	457	Vais-37	408
	11-6-2024 11:40	12-6-2024 11:20	472	475	473	Vais-37	426
	21-8-2024 12:33	22-8-2024 11:45	472	470	471	Vais-37	445
	28-10-2024 12:30	29-10-2024 12:45	481	477	479	Vais-37	n.b.

Tabel B.6: Standaard referentiemetingen (SRM) voor de ingaande (buiten)lucht aan de (zuid)westelijke kant voor CH_4. Alle SRM-concentraties in ppm. n.b.: data niet beschikbaar. Er zijn voor CH_4 geen sensoren in deze positie geplaatst.

Meetlocatie	Begintijd	Eindtijd	SRM_1	SRM_2	SRM_Gem
B1	20-12-2022 13:34	21-12-2022 10:34	12,6	12,9	12,7
	28-2-2023 12:43	1-3-2023 10:15	53,4	62,7	58,1
	9-5-2023 12:20	10-5-2023 10:00	10,3	9,9	10,1
	12-7-2023 10:25	13-7-2023 10:25	9,4	9,3	9,4
	13-9-2023 10:48	14-9-2023 10:48	25,1	24,3	24,7
	13-11-2023 11:00	14-11-2023 11:00	2,6	2,7	2,7
	27-2-2024 10:39	28-2-2024 10:39	6,3	6,6	6,5
B2	22-2-2023 12:21	23-2-2023 12:21	6,1	5,8	5,9
	18-4-2023 11:07	19-4-2023 10:25	2,6	3,1	2,8
	20-6-2023 12:25	21-6-2023 11:20	3,1	3,2	3,1
	22-8-2023 12:52	23-8-2023 12:26	7,5	7,2	7,3
	24-10-2023 13:45	25-10-2023 13:30	8,5	8,6	8,6
	5-12-2023 12:55	6-12-2023 12:55	11,9	9,3	10,6
	19-3-2024 13:35	20-3-2024 13:12	8,8	9,1	8,9
	18-6-2024 12:36	19-6-2024 12:30	7,2	7,3	7,3
B3	6-6-2023 12:45	7-6-2023 10:55	7,0	6,9	6,9
	15-8-2023 14:35	16-8-2023 14:08	9,6	9,7	9,6
	10-10-2023 13:55	11-10-2023 13:05	8,6	8,5	8,6
	12-12-2023 16:33	13-12-2023 16:33	9,2	8,5	8,9
	20-2-2024 14:15	21-2-2024 13:15	6,9	7,0	7,0
	16-4-2024 13:40	17-4-2024 13:00	12,1	11,8	12,0
	11-6-2024 13:27	12-6-2024 12:57	10,6	10,9	10,8
	21-8-2024 13:55	22-8-2024 12:48	n.b.	9,0	9,0
B4	12-12-2023 15:11	13-12-2023 14:37		4,7	4,7
	20-2-2024 12:50	21-2-2024 11:40	3,0	2,7	2,9
	16-4-2024 12:00	17-4-2024 11:20	5,9	5,7	5,8
	11-6-2024 11:40	12-6-2024 11:20	4,0	4,2	4,1
	21-8-2024 12:33	22-8-2024 11:45	7,7	7,4	7,6
	28-10-2024 12:30	29-10-2024 12:45	3,4	3,2	3,3

Tabel B.7: Standaard referentiemetingen (SRM) voor de ingaande (buiten)lucht aan de (noord)oostelijke kant voor NH_3. Alle SRM-concentraties in ppm. n.b.: data niet beschikbaar. Er zijn voor NH_3 geen sensoren in deze positie geplaatst.

Meetlocatie	Begintijd	Eindtijd	SRM_1	SRM_2	SRM_Gem
B1	20-12-2022 13:34	21-12-2022 10:34	0,08	0,07	0,08
	28-2-2023 12:43	1-3-2023 10:15	0,06	0,07	0,06
	9-5-2023 12:20	10-5-2023 10:00	0,06	0,06	0,06
	12-7-2023 10:25	13-7-2023 10:25	0,06	0,05	0,05
	13-9-2023 10:48	14-9-2023 10:48	0,65	0,74	0,69
	13-11-2023 11:00	14-11-2023 11:00	0,22	0,21	0,22
	27-2-2024 10:39	28-2-2024 10:39	0,13	0,16	0,14
B2	22-2-2023 12:21	23-2-2023 12:21	0,35	0,34	0,35
	18-4-2023 11:07	19-4-2023 10:25	0,50	0,49	0,49
	20-6-2023 12:25	21-6-2023 11:20	0,43	0,45	0,44
	22-8-2023 12:52	23-8-2023 12:26	0,41	0,41	0,41
	24-10-2023 13:45	25-10-2023 13:30	0,08	0,08	0,08
	5-12-2023 12:55	6-12-2023 12:55	0,04	0,05	0,05
	19-3-2024 13:35	20-3-2024 13:12	0,47	0,47	0,47
	18-6-2024 12:36	19-6-2024 12:30	0,07	0,07	0,07
B3	6-6-2023 12:45	7-6-2023 10:55	0,30	0,30	0,30
	15-8-2023 14:35	16-8-2023 14:08	0,39	0,43	0,41
	10-10-2023 13:55	11-10-2023 13:05	0,05	0,05	0,05
	12-12-2023 16:33	13-12-2023 16:33	0,09	0,09	0,09
	20-2-2024 14:15	21-2-2024 13:15	0,05	0,06	0,06
	16-4-2024 13:40	17-4-2024 13:00	0,08	0,09	0,08
	11-6-2024 13:27	12-6-2024 12:57	0,08	0,09	0,08
	21-8-2024 13:55	22-8-2024 12:48	0,07	0,06	0,06
B4	12-12-2023 15:11	13-12-2023 14:37	0,08	0,22	0,15
	20-2-2024 12:50	21-2-2024 11:40	0,69	0,66	0,68
	16-4-2024 12:00	17-4-2024 11:20	0,13	0,13	0,13
	11-6-2024 11:40	12-6-2024 11:20	0,17	0,17	0,17
	21-8-2024 12:33	22-8-2024 11:45	0,09	0,09	0,09
	28-10-2024 12:30	29-10-2024 12:45	0,37	0,37	0,37

Tabel B.8: Standaard referentiemetingen (SRM) en sensorwaarden voor de ingaande (buiten)lucht aan de (noord)oostelijke kant voor CO_2. Alle SRM- en sensorconcentraties in ppm. n.b.: data niet beschikbaar. Sensor_nr: sensornummer. Sensor_conc: sensorconcentratie.

Meetlocatie	Begintijd	Eindtijd	SRM_1	SRM_2	SRM_Gem	Sensor_nr	Sensor_conc
B1	20-12-2022 13:34	21-12-2022 10:34	455	444	450	Vais-17	458
	28-2-2023 12:43	1-3-2023 10:15	471	471	471	Vais-14	n.b.
	9-5-2023 12:20	10-5-2023 10:00	450	450	450	Vais-14	447
	12-7-2023 10:25	13-7-2023 10:25	439	439	439	Vais-14	444
	13-9-2023 10:48	14-9-2023 10:48	495	495	495	Vais-14	450
	13-11-2023 11:00	14-11-2023 11:00	465	459	462	Vais-14	407
	27-2-2024 10:39	28-2-2024 10:39	463	467	465	Vais-14	445
B2	22-2-2023 12:21	23-2-2023 12:21	513	509	511	Vais-213	436
	18-4-2023 11:07	19-4-2023 10:25	536	534	535	Vais-213	415
	20-6-2023 12:25	21-6-2023 11:20	493	491	492	Vais-213	421
	22-8-2023 12:52	23-8-2023 12:26	569	560	564	Vais-213	474
	24-10-2023 13:45	25-10-2023 13:30	497	n.b.	497	Vais-207	428
	5-12-2023 12:55	6-12-2023 12:55	515	539	527	Vais-207	483
	19-3-2024 13:35	20-3-2024 13:12	523	n.b.	523	Vais-207	523
	18-6-2024 12:36	19-6-2024 12:30	469	n.b.	469	Vais-207	410
B3	6-6-2023 12:45	7-6-2023 10:55	457	462	460	Vais-170	455
	15-8-2023 14:35	16-8-2023 14:08	502	503	502	Vais-170	476
	10-10-2023 13:55	11-10-2023 13:05	465	452	458	Vais-170	421
	12-12-2023 16:33	13-12-2023 16:33	461	462	461	Vais-170	420
	20-2-2024 14:15	21-2-2024 13:15	440	438	439	Vais-170	426
	16-4-2024 13:40	17-4-2024 13:00	445	446	446	Vais-170	425
	11-6-2024 13:27	12-6-2024 12:57	451	448	449	Vais-170	430
	21-8-2024 13:55	22-8-2024 12:48	425	428	426	Vais-170	412
B4	12-12-2023 15:11	13-12-2023 14:37	453	463	458	Vais-82	432
	20-2-2024 12:50	21-2-2024 11:40	519	519	519	Vais-82	447
	16-4-2024 12:00	17-4-2024 11:20	451	449	450	Vais-82	456
	11-6-2024 11:40	12-6-2024 11:20	478	471	475	Vais-82	472
	21-8-2024 12:33	22-8-2024 11:45	429	428	429	Vais-82	444
	28-10-2024 12:30	29-10-2024 12:45	536	535	535	Vais-82	n.b.

Tabel B.9: Standaard referentiemetingen (SRM) voor de ingaande (buiten)lucht aan de (noord)oostelijke kant voor CH_4. Alle SRM-concentraties in ppm. n.b.: data niet beschikbaar. Er zijn voor CH_4 geen sensoren in deze positie geplaatst.

Meetlocatie	Begintijd	Eindtijd	SRM_1	SRM_2	SRM_Gem
B1	20-12-2022 13:34	21-12-2022 10:34	4,6	2,9	3,7
	28-2-2023 12:43	1-3-2023 10:15	3,7	5,1	4,4
	9-5-2023 12:20	10-5-2023 10:00	3,1	3,0	3,0
	12-7-2023 10:25	13-7-2023 10:25	2,2	2,1	2,2
	13-9-2023 10:48	14-9-2023 10:48	6,3	6,4	6,3
	13-11-2023 11:00	14-11-2023 11:00	7,4	7,9	7,6
	27-2-2024 10:39	28-2-2024 10:39	7,5	8,0	7,8
B2	22-2-2023 12:21	23-2-2023 12:21	14,6	14,4	14,5
	18-4-2023 11:07	19-4-2023 10:25	11,0	11,2	11,1
	20-6-2023 12:25	21-6-2023 11:20	6,4	6,3	6,3
	22-8-2023 12:52	23-8-2023 12:26	19,6	12,2	15,9
	24-10-2023 13:45	25-10-2023 13:30	18,5	n.b.	18,5
	5-12-2023 12:55	6-12-2023 12:55	4,1	4,5	4,3
	19-3-2024 13:35	20-3-2024 13:12	19,9	n.b.	19,9
	18-6-2024 12:36	19-6-2024 12:30	4,0	n.b.	4,0
B3	6-6-2023 12:45	7-6-2023 10:55	3,0	3,5	3,3
	15-8-2023 14:35	16-8-2023 14:08	8,5	7,0	7,8
	10-10-2023 13:55	11-10-2023 13:05	2,4	2,4	2,4
	12-12-2023 16:33	13-12-2023 16:33	4,4	4,5	4,4
	20-2-2024 14:15	21-2-2024 13:15	2,7	2,5	2,6
	16-4-2024 13:40	17-4-2024 13:00	3,5	3,2	3,3
	11-6-2024 13:27	12-6-2024 12:57	3,0	3,0	3,0
	21-8-2024 13:55	22-8-2024 12:48	2,5	2,4	2,4
B4	12-12-2023 15:11	13-12-2023 14:37	23,6	24,2	23,9
	20-2-2024 12:50	21-2-2024 11:40	16,7	16,6	16,6
	16-4-2024 12:00	17-4-2024 11:20	5,1	5,0	5,1
	11-6-2024 11:40	12-6-2024 11:20	4,5	4,4	4,5
	21-8-2024 12:33	22-8-2024 11:45	3,1	3,2	3,1
	28-10-2024 12:30	29-10-2024 12:45	11,3	11,3	11,3

Uitbreiding C Aanvullende informatie bij concentratiemetingen

In deze Uitbreiding worden visuele waarnemingen (tijdreeksen en Bland-Alman plots) voor de concentratiemetingen (stal en ingaande lucht) weergegeven. Aanvullende informatie over concentratieverschillen (stal – ingaande luchtconcentraties) en verhoudingen (ingaande luchtconcentratie ten opzichte van stalconcentratie) worden hieronder ook besproken.

Stalluchtconcentraties

Figuren C1 t/m C3 laten de waarden zien van de stalluchtconcentraties van respectievelijk NH_3, CO_2 en CH_4 die door ILVO en WLR zijn gemeten op de TGR-leiding in de vier melkveestallen gedurende de gemeenschappelijke meetperiode. Figuur C1 laat (voor zowel de tijdreeks als voor de Bland-Altman plots) een duidelijk verschil zien voor de **NH_3-stalluchtconcentraties** op de TGR-leiding zoals gemeten door ILVO en WLR. Over het algemeen is de concentratie die door WLR is gemeten (op alle locaties) hoger dan die van ILVO voor concentratieniveaus onder 3 ppm (en andersom voor concentraties boven 3 ppm). Bij locaties B1 en B4 zijn twee verschillende patronen te zien, die corresponderen met waarden vóór en na vervanging van de NH_3-sensor bij WLR. De tijdseries van de **CO_2-** en **CH_4-concentratiemetingen** (Figuur C2 en Figuur C3) tonen grote visuele gelijkenissen tussen de metingen van WLR en ILVO. De Bland-Altman plots bevestigen deze observaties.

Ingaande luchtconcentraties

De tijdreeksen en Bland-Altman plots van de ingaande NH_3- en CH_4-luchtconcentraties (continu gemeten door ILVO; discontinue gemeten door WLR) worden in Figuur C4 (op basis van minimumwaarden) weergegeven. De tijdreeksen en Bland-Altman plots van de ingaande CO_2-luchtconcentraties worden in Figuur C5 (meetpunt/leiding aan de westelijke kant), Figuur C6 (meetpunt/leiding aan de oostelijke kant) en Figuur C7 (op basis van minimumwaarden) weergegeven. Over het algemeen zijn de concentraties die gemeten zijn door ILVO-meetinstrumenten hoger dan die van WLR, voor zowel de (zuid)westelijke als de (noord)oostelijke kant. Het verschil neemt toe naarmate de concentratie toeneemt. Bij locaties B1 en B3 zijn de verschillen het grootst aan de (noord)oostelijke kant, voor locatie B4 juist aan de (zuid)westelijke kant. De gemeten verhouding tussen de minimum ingaande luchtconcentraties en de stalconcentraties (Figuur C8) varieerde tussen 12-17% (ILVO) en tussen 6-11% (WLR).

Verhouding tussen ingaande luchtconcentraties en stalconcentraties

Voor NH_3 en CH_4 varieerde de gemeten verhouding tussen de minimum ingaande luchtconcentraties en de stalconcentraties (Figuur C8) tussen 10-32% voor NH_3, en tussen 11-26% voor CH_4. Stal B3 had over het algemeen een hogere verhouding voor zowel NH_3 als CH_4 dan de andere stallen. Voor CO_2 varieerde de gemeten verhouding tussen de minimum ingaande luchtconcentraties en de stalconcentraties (Figuur C9) tussen 12-17% (ILVO) en tussen 6-11% (WLR).

Concentratieverschil (stal- ingaande luchtconcentraties)

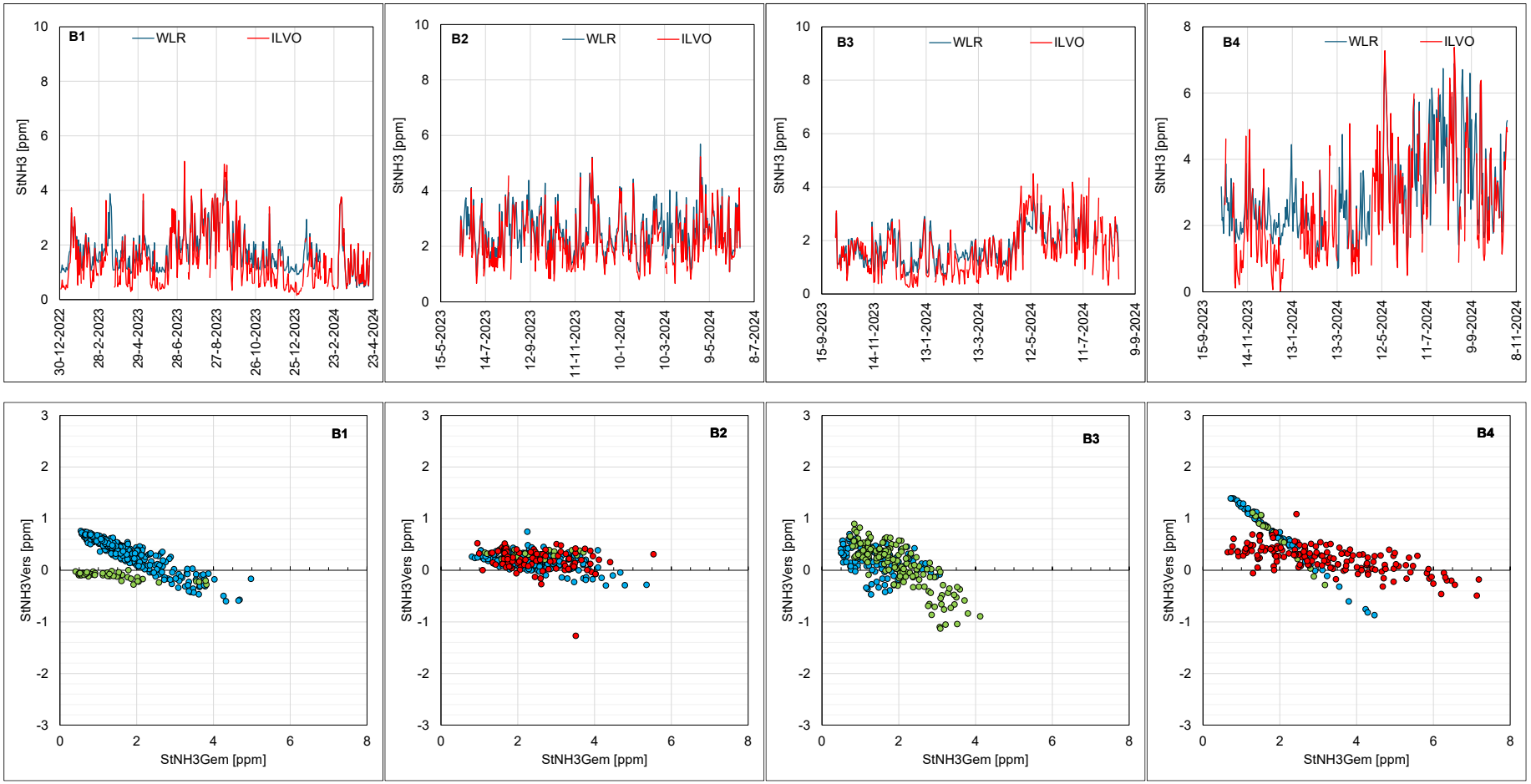
Gemiddeld over alle vier locaties (met alleen meetdagen waar data van zowel ILVO als WLR beschikbaar was) lag het concentratieverschil voor **NH_3** tussen de uitgaande stallucht en de ingaande (buiten)luchtconcentratie die door WLR is gemeten 0,5 ppm hoger dan de door ILVO gemeten waarden (zie Tabel C1). Dit verschil is voor alle vier locaties afzonderlijk te zien (Figuur C10) en is relatief hoog vergeleken met de gemiddelde stalluchtconcentraties (rond 2 ppm).

Voor **CH_4** was het concentratieverschil bij de WLR-metingen gemiddeld (over drie locaties) 4 ppm hoger dan bij de ILVO-metingen. Alleen bij locatie B4 was het concentratieverschil bij de WLR-metingen iets lager dan bij de ILVO-metingen (zie Tabel C1 en Figuur C11). Dit verschil tussen WLR- en ILVO-metingen voor CH_4 is laag ten opzichte van de gemiddelde stalluchtconcentratie (rond 55 ppm).

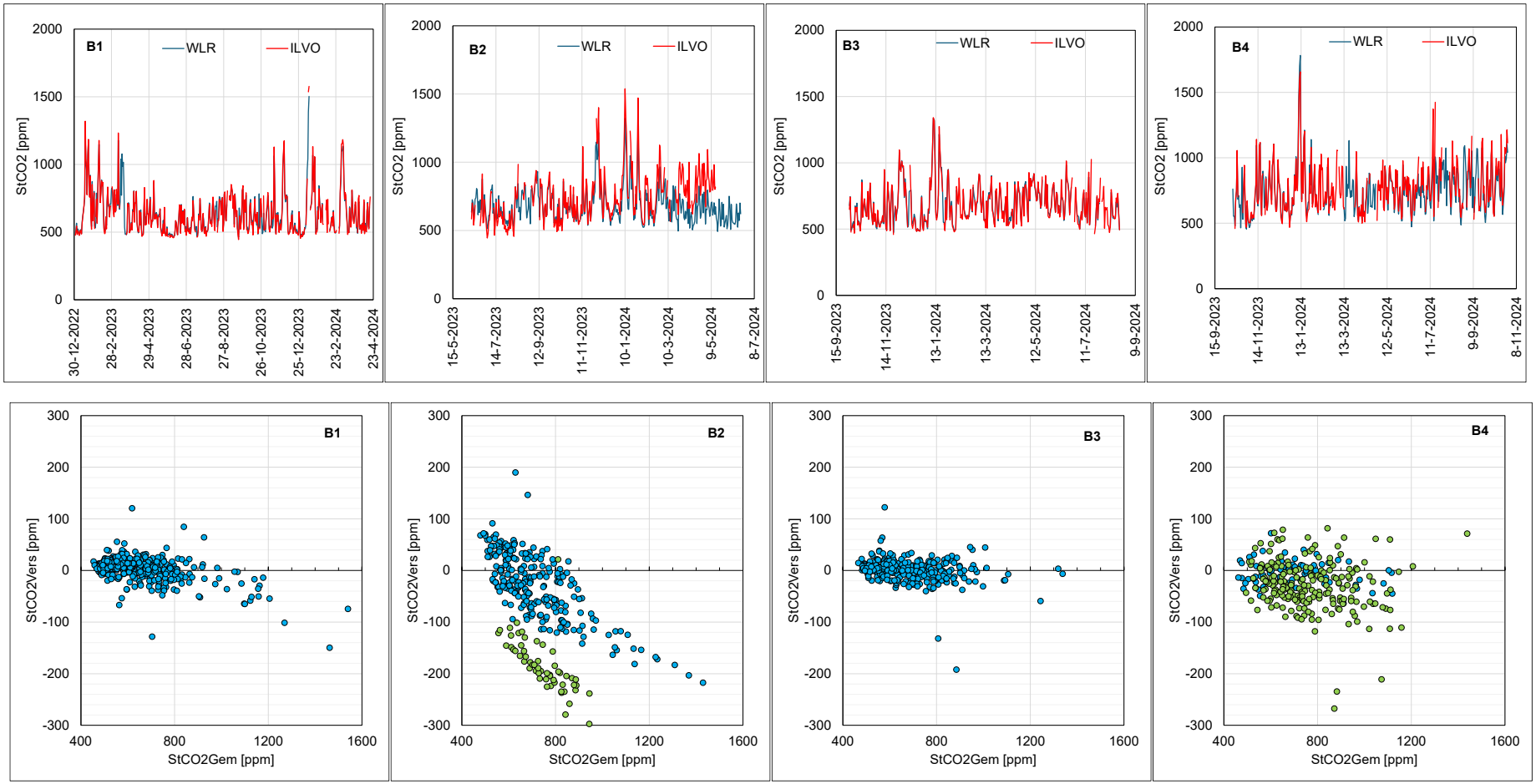
Wat betreft **CO_2** was het concentratieverschil bij de WLR-metingen op twee locaties hoger en op twee locaties lager dan bij de ILVO-metingen (zie Figuur C12). Gemiddeld (over alle vier locaties) was het concentratieverschil bij de WLR-metingen 8 ppm hoger dan bij de ILVO-metingen (zie Tabel C1). Dit verschil tussen WLR- en ILVO-metingen voor CO_2 is laag ten opzichte van de gemiddelde stalluchtconcentratie (rond 700 ppm).

Tabel C1: Per locatie, gemiddelde (over alle dagen met gelijktijdige ILVO- en WLR-data) van de concentratieverschillen (in ppm) tussen uitgaande stallucht en ingaande (buiten)lucht, voor zowel CO_2, NH_3 en CH_4, en voor zowel WLR- als ILVO-meetdata. n.b.: niet bepaald (geen WLR-metingen). Vers: verschil.

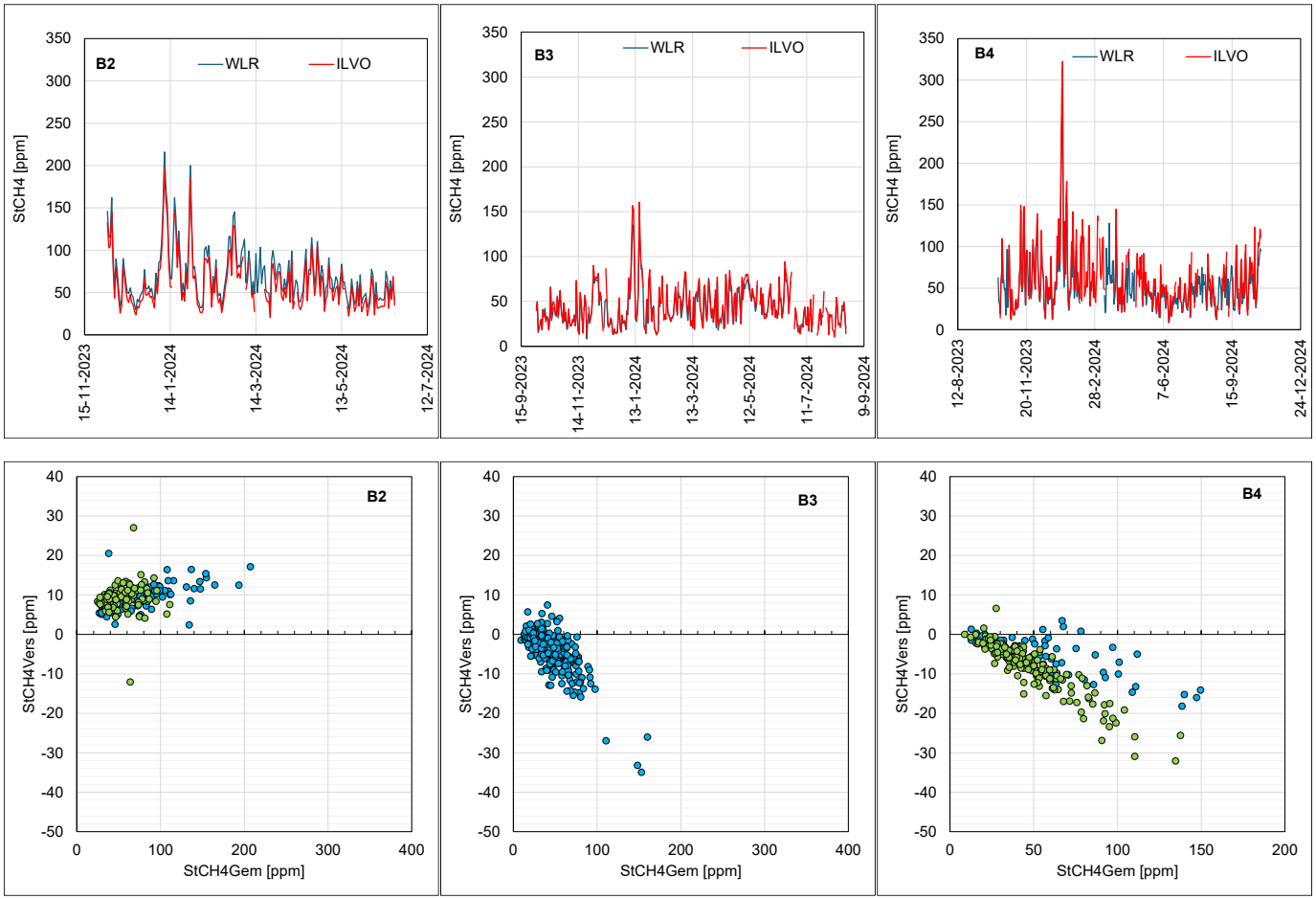
Locatie	NH3VersILVO	NH3VersWLR	CH4VersILVO	CH4VersWLR	CO2VersILVO	CO2VersWLR
B1	1,1	1,6	n.b.	n.b.	178	175
B2	1,9	2,3	54	61	255	244
B3	1,1	1,7	34	40	199	231
B4	2,3	2,8	51	48	286	300



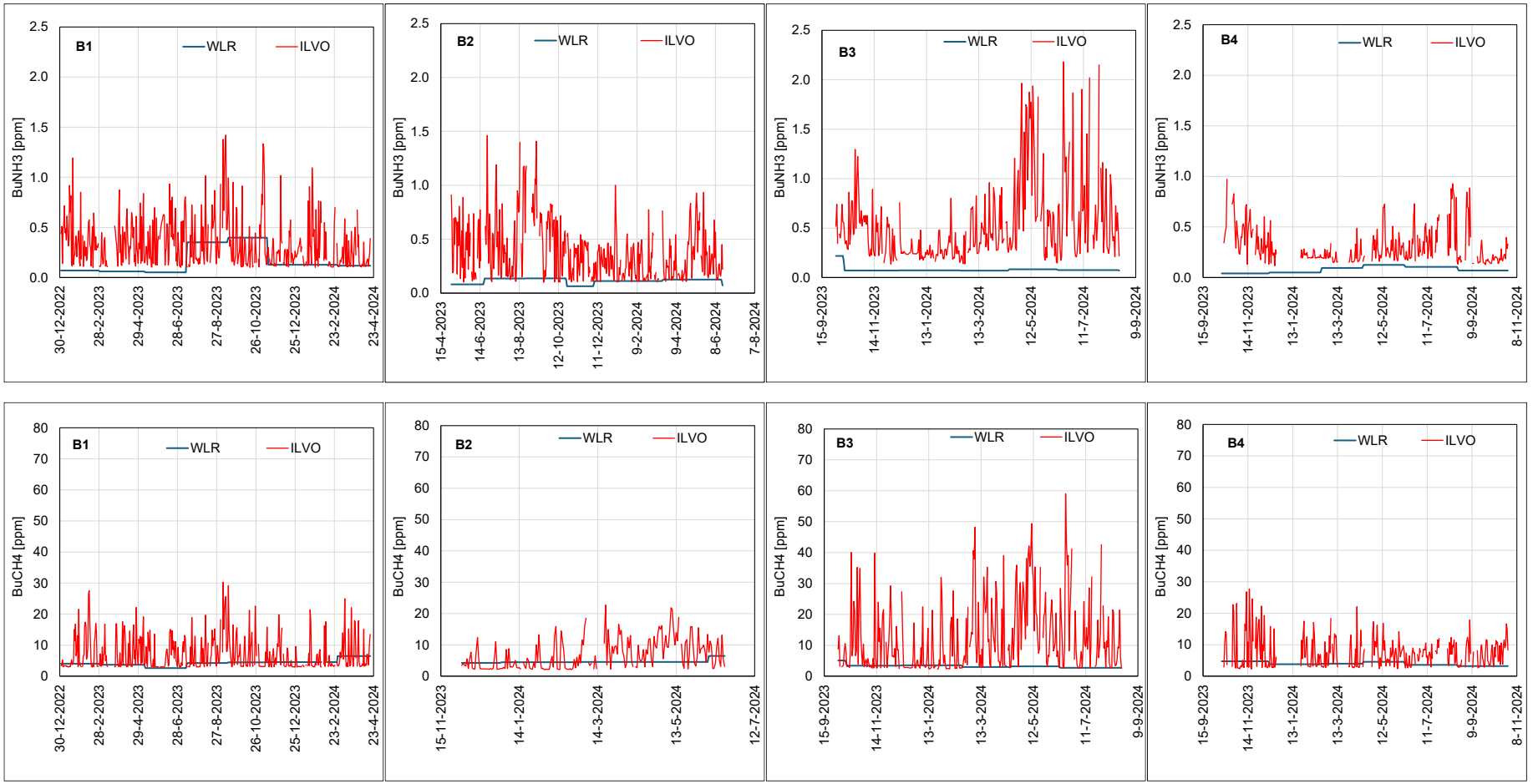
Figuur C1: NH_3-stalluchtconcentratie (daggemiddelden) bepaald door ILVO en WLR op de TGR-leiding in de vier melkveestallen gedurende de gemeenschappelijke meetperiode. Boven: tijdreeks. Beneden: Bland-Altman plots van het verschil in NH_3-stalluchtconcentraties (WLR-ILVO) ten opzichte van de gemiddelde waarde. Bij de WLR metingen is de NH_3-sensor (voor alle stallen) vervangen. Bij locatie B2 en B4 is ook door ILVO de sensor vervangen. Verschillende combinaties van sensoren worden in de figuur met verschillende kleuren weergegeven (blauw, groen, rood). Bij ILVO is een labkalibratie en bij WLR zowel een lab- als een veldkalibratie op de meetinstrumentdata toegepast. StNH3: NH_3-stalluchtconcentraties. StNH3Gem: gemiddelde van de NH_3-stalluchtconcentraties gemeten bij WLR en ILVO. StNH3Vers: verschil in NH_3-stalluchtconcentraties gemeten bij WLR en ILVO (WLR-ILVO).



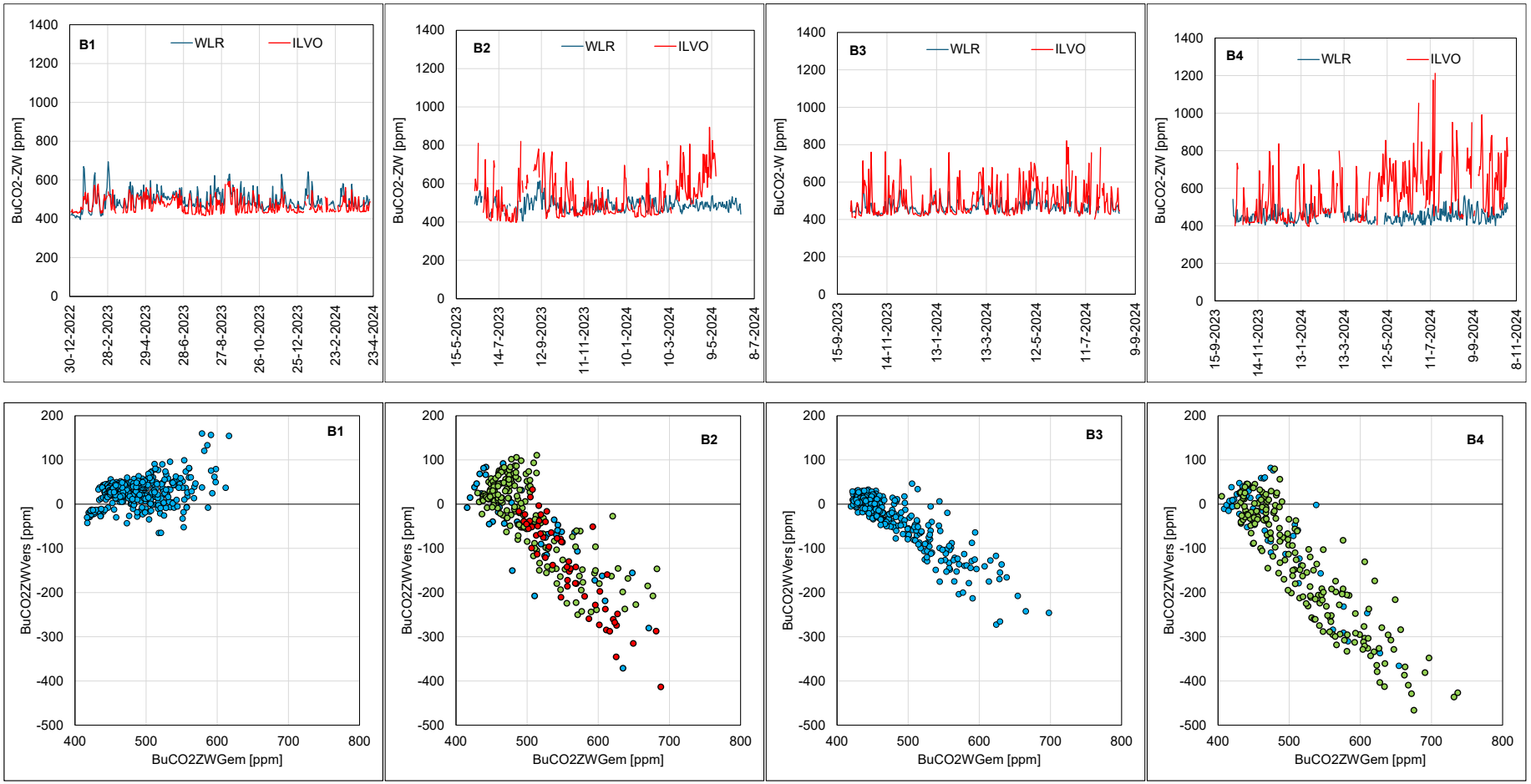
Figuur C2: CO_2-stalluchtconcentratie (daggemiddelden) bepaald door ILVO en WLR op de TGR-leiding in de vier melkveestallen gedurende de gemeenschappelijke meetperiode. Boven: tijdreeks. Beneden: Bland-Altman plots van het verschil in CO_2-stalluchtconcentraties (WLR-ILVO) ten opzichte van de gemiddelde waarde. De CO_2-sensor werd door ILVO bij locaties B2 en B4 vervangen. Verschillende combinaties van sensoren worden in de figuur met verschillende kleuren weergegeven (blauw, groen). Bij ILVO is een labkalibratie en bij WLR zowel een lab- als een veldkalibratie op de meetinstrumentdata toegepast. StCO2: CO_2-stalluchtconcentraties. StCO2Gem: gemiddelde van de CO_2-stalluchtconcentraties gemeten bij WLR en ILVO. StCO2Vers: verschil in CO_2-stalluchtconcentraties gemeten bij WLR en ILVO (WLR-ILVO).



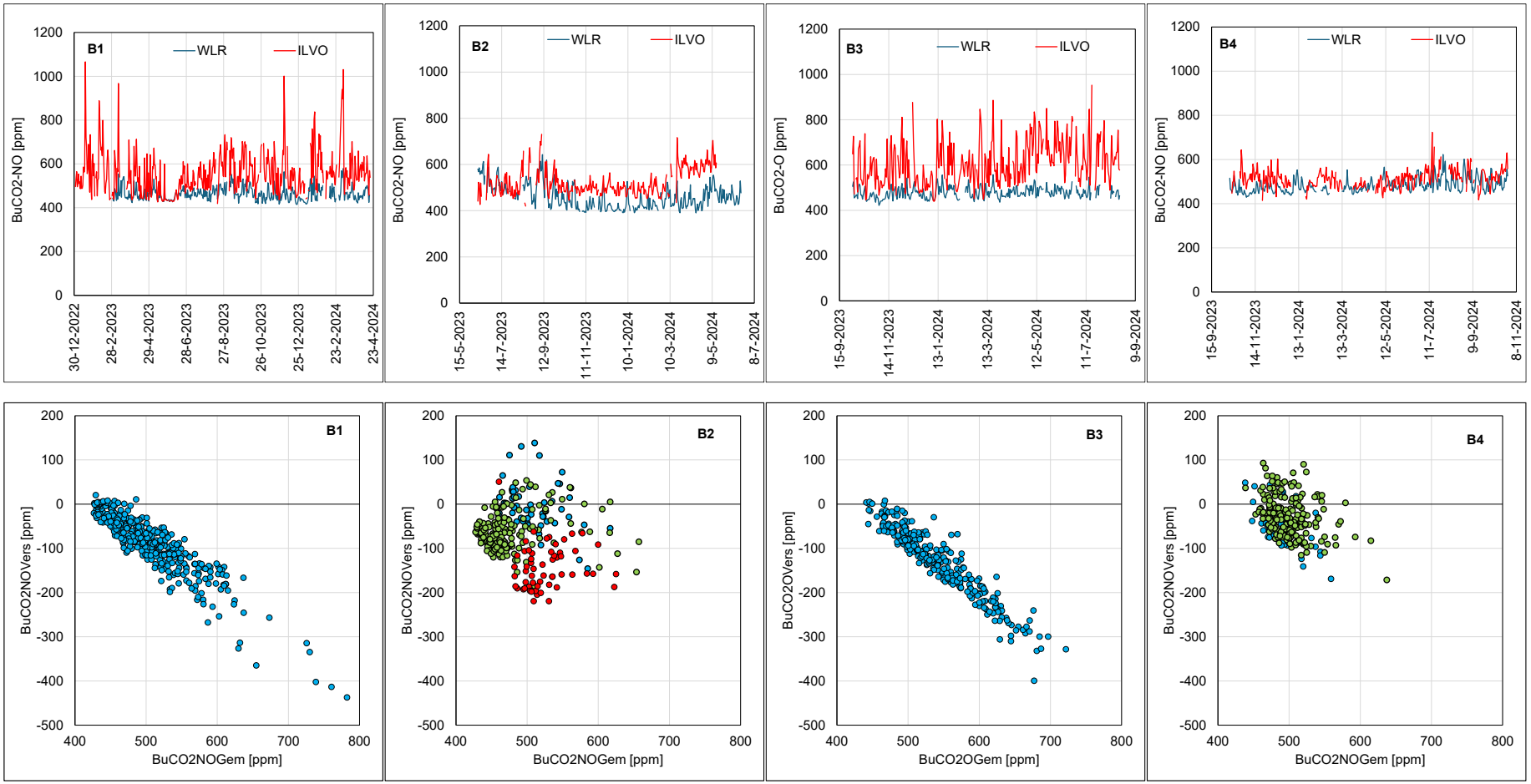
Figuur C3: CH_4-stalluchtconcentratie (daggemiddelden) bepaald door ILVO en WLR op de TGR-leiding in de vier melkveestallen gedurende de gemeenschappelijke meetperiode. Boven: tijdreeks. Beneden: Bland-Altman plots van het verschil in CH_4-stalluchtconcentraties (WLR-ILVO) ten opzichte van de gemiddelde waarde. De CH_4-sensor werd door ILVO bij locaties B2 en B4 vervangen. Verschillende combinaties van sensoren worden in de figuur met verschillende kleuren weergegeven (blauw, groen). Bij ILVO is een labkalibratie en bij WLR zowel een lab- als een veldkalibratie op de meetinstrumentdata toegepast. StCH4: CH_4-stalluchtconcentraties. StCH4Gem: gemiddelde van de CH_4-stalluchtconcentraties gemeten bij WLR en ILVO. StCH4Vers: verschil in CH_4-stalluchtconcentraties gemeten bij WLR en ILVO (WLR-ILVO).



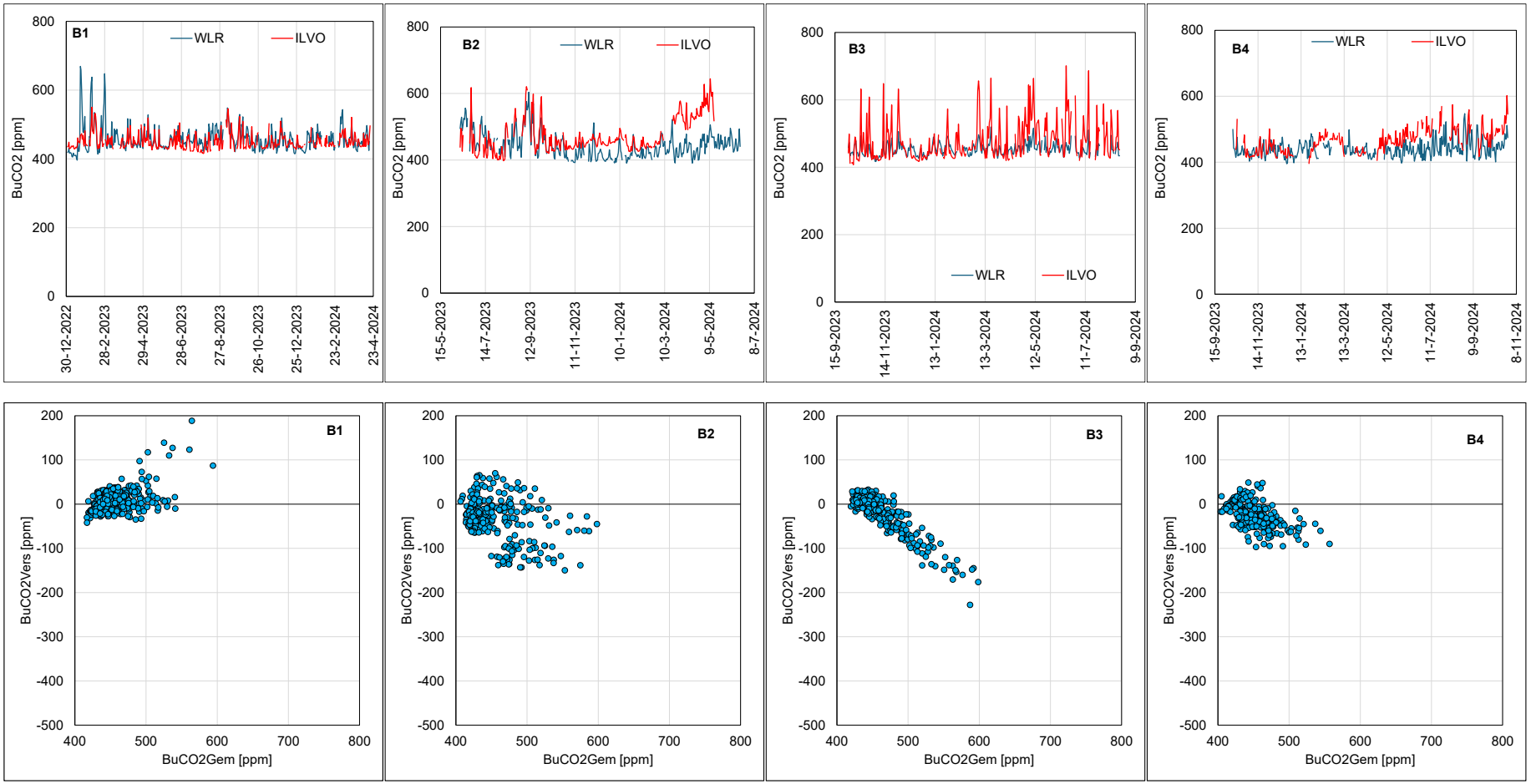
Figuur C4: Ingaande NH_3-(boven) en CH_4-(beneden)luchtconcentratie (daggemiddelden) bepaald door ILVO en WLR als minimumwaarde tussen west en oost buiten de stallen gedurende de gemeenschappelijke meetperiode. Bij ILVO is een labkalibratie en bij WLR zowel een lab- als een veldkalibratie op de meetinstrumentdata toegepast. BuNH3: minimum ((zuid)west; (noord)oost) NH_3-ingaande luchtconcentraties. BuCH4: minimum ((zuid)west; (noord)oost) CH_4-ingaande luchtconcentraties.



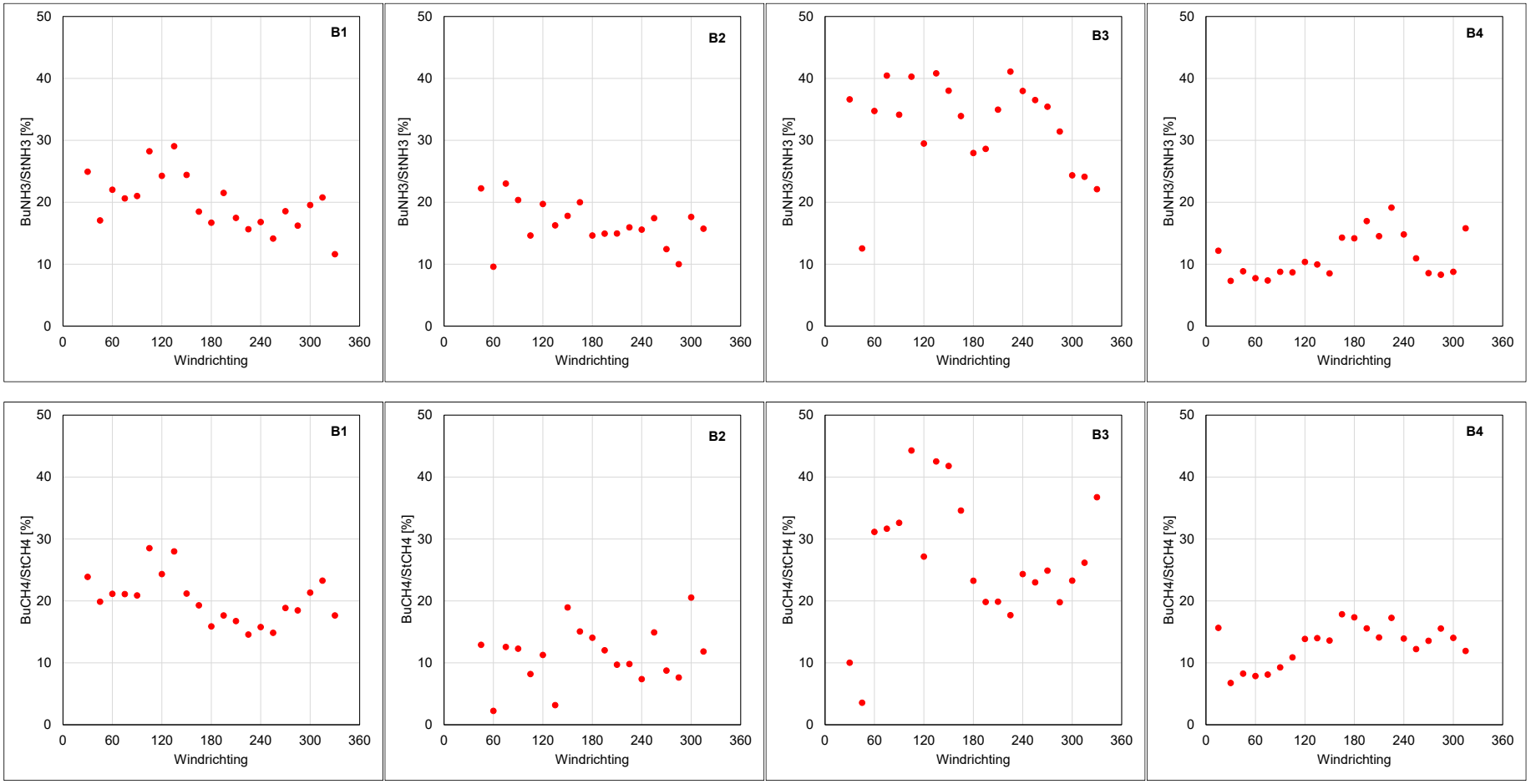
Figuur C5: CO_2-ingaandeluchtconcentratie (daggemiddelden) bepaald door ILVO en WLR aan de westelijke kant buiten de stallen gedurende de gemeenschappelijke meetperiode. Boven: tijdreeks. Beneden: Bland-Altman plots van het verschil in CO_2-stalluchtconcentraties (WLR-ILVO) ten opzichte van de gemiddelde waarde. De CO_2-sensor werd door WLR bij locatie B2 en door ILVO bij locaties B2 en B4 vervangen. Verschillende combinaties van sensoren worden in de figuur met verschillende kleuren weergegeven (blauw, groen, rood). Bij ILVO is een labkalibratie en bij WLR zowel een lab- als een veldkalibratie op de meetinstrumentdata toegepast. BuCO2(Z)W: CO_2-ingaande luchtconcentraties ((zuid)westelijke kant). BuCO2(Z)WGem: gemiddelde van de CO_2-ingaande luchtconcentraties ((zuid)westelijke kant) gemeten bij WLR en ILVO. BuCO2(Z)WVers: verschil in CO_2-ingaande luchtconcentraties ((zuid)westelijke kant) gemeten bij WLR en ILVO (WLR-ILVO).



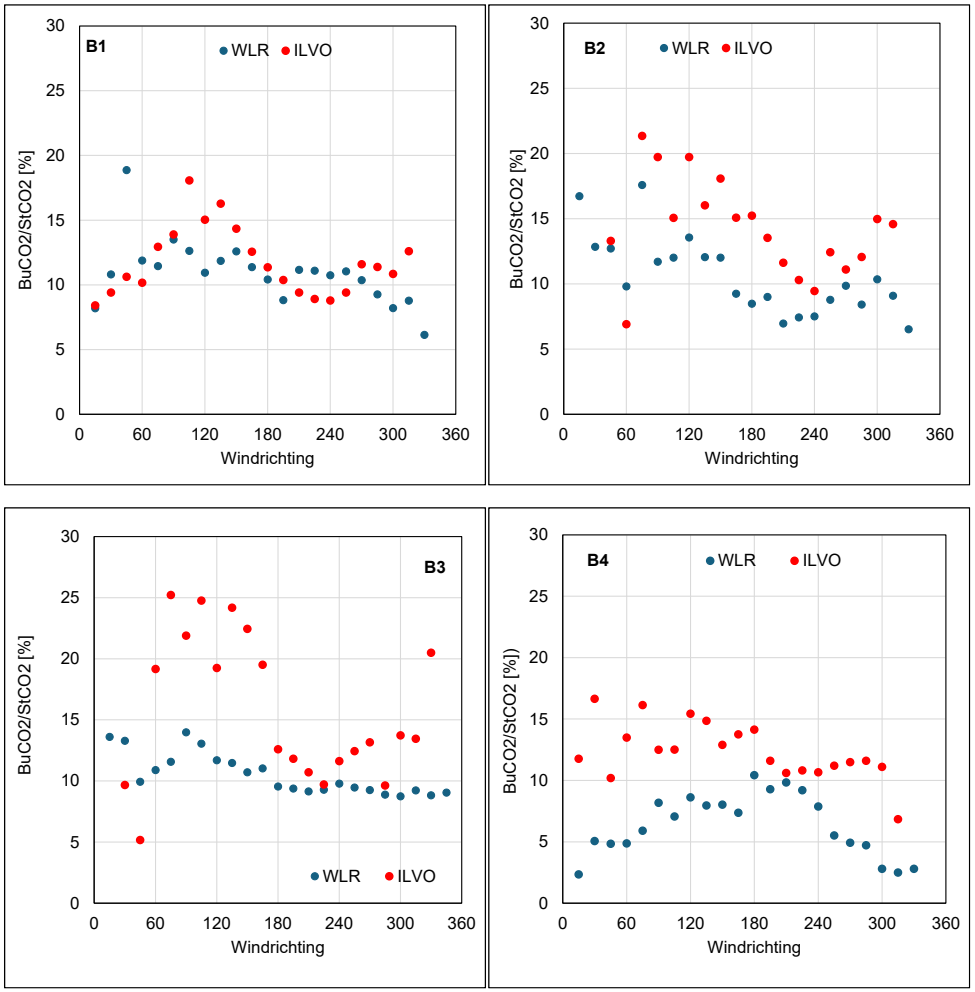
Figuur C6: CO_2-ingaandeluchtconcentratie (daggemiddelden) bepaald door ILVO en WLR aan de oostelijke kant buiten de stallen gedurende de gemeenschappelijke meetperiode. Boven: tijdreeks. Beneden: Bland-Altman plots van het verschil in CO_2-stalluchtconcentraties (WLR-ILVO) ten opzichte van de gemiddelde waarde. De CO_2-sensor werd door WLR bij locaties B2 en B3 en door ILVO bij locaties B2 en B4 vervangen. Verschillende combinaties van sensoren worden in de figuur met verschillende kleuren weergegeven (blauw, groen, rood). Bij ILVO is een labkalibratie en bij WLR zowel een lab- als een veldkalibratie op de meetinstrumentdata toegepast. BuCO2(N)O: CO_2-ingaande luchtconcentraties ((noord)oostelijke kant). BuCO2(N)OGem: gemiddelde van de CO_2-ingaande luchtconcentraties ((noord)oostelijke kant) gemeten bij WLR en ILVO. BuCO2(N)OVers: verschil in CO_2-ingaande luchtconcentraties ((noord)oostelijke kant) gemeten bij WLR en ILVO (WLR-ILVO).



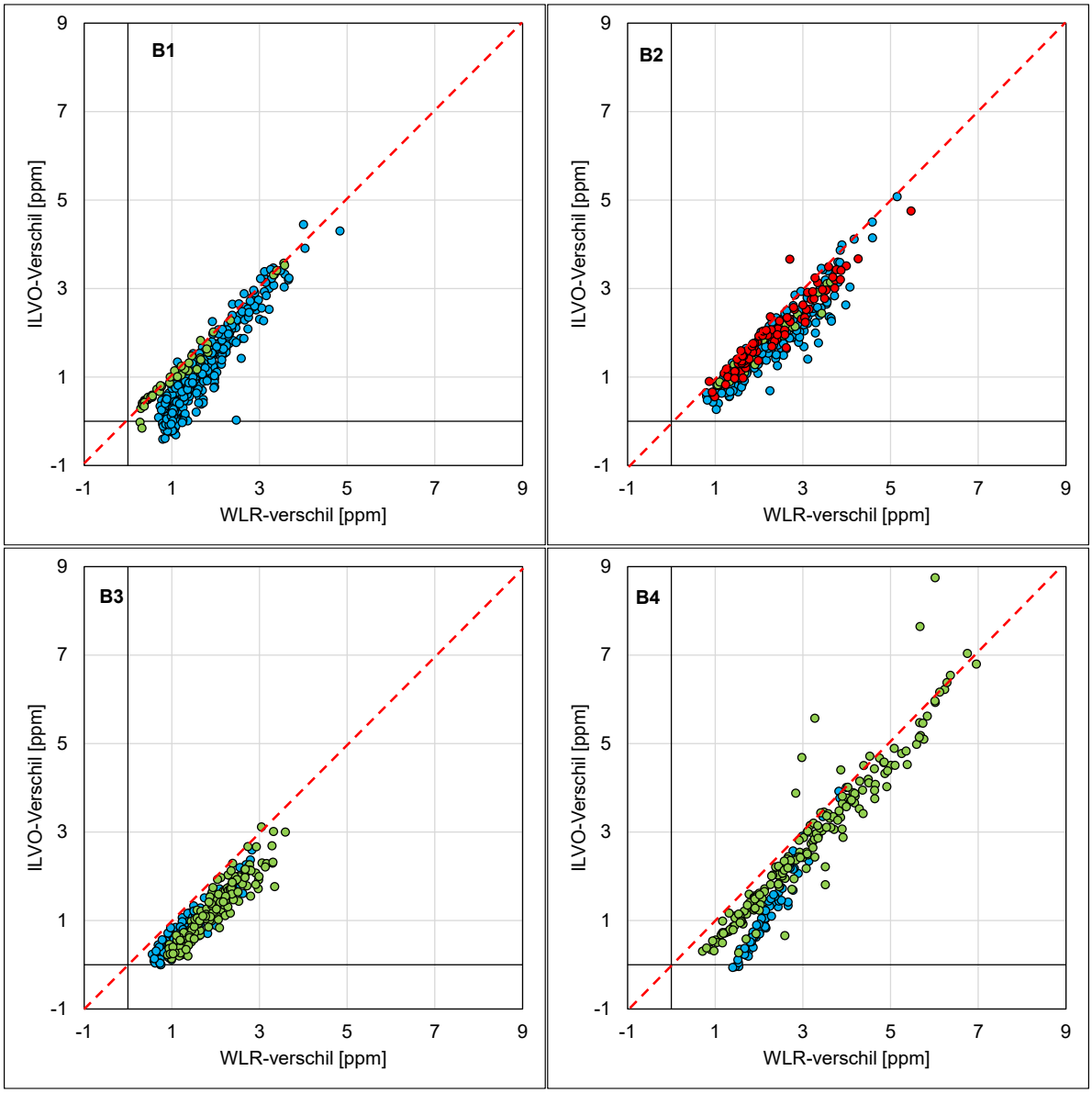
Figuur C7: CO_2-ingaandeluchtconcentratie (daggemiddelden) bepaald door ILVO en WLR als minimumwaarde tussen west en oost buiten de stallen gedurende de gemeenschappelijke meetperiode. Boven: tijdreeks. Beneden: Bland-Altman plots van het verschil in CO_2-stalluchtconcentraties (WLR-ILVO) ten opzichte van de gemiddelde waarde. Bij ILVO is een labkalibratie en bij WLR zowel een lab- als een veldkalibratie op de meetinstrumentdata toegepast. BuCO2: minimum ((zuid)west; (noord)oost) CO_2-ingaande luchtconcentraties. BuCO2Gem: gemiddelde van de CO_2-ingaande luchtconcentraties (op basis van minimum ((zuid)west; (noord)oost) waarden) gemeten bij WLR en ILVO. BuCO2Vers: verschil in CO_2-ingaande luchtconcentraties (op basis van minimum ((zuid)west; (noord)oost) waarden) gemeten bij WLR en ILVO (WLR-ILVO).



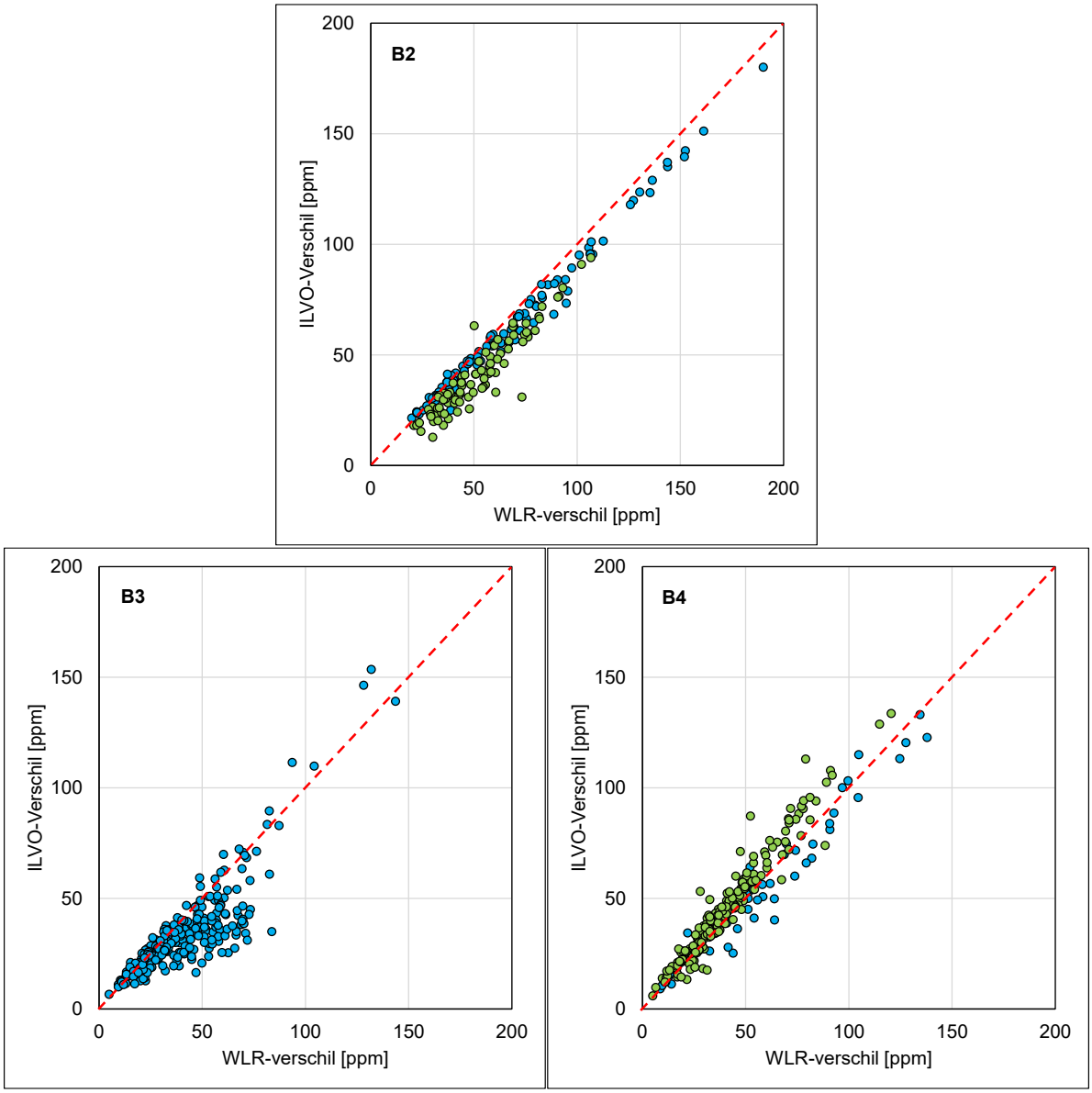
Figuur C8: Verhouding tussen de gemeten ingaande NH_3-(boven) en CH_4-(beneden)luchtconcentratie (daggemiddelden; bepaald door ILVO als minimumwaarde tussen west en oost buiten de stallen gedurende de gemeenschappelijke meetperiode), en de stalconcentraties afhankelijk van windrichting. Bij ILVO is een labkalibratie op de meetinstrumentdata toegepast. BuNH3: minimum ((zuid)west; (noord)oost) NH_3-ingaande luchtconcentraties. BuCH4: minimum ((zuid)west; (noord)oost) CH_4-ingaande luchtconcentraties. StNH3: NH_3-stalluchtconcentraties. StCH4: CH_4-stalluchtconcentraties.



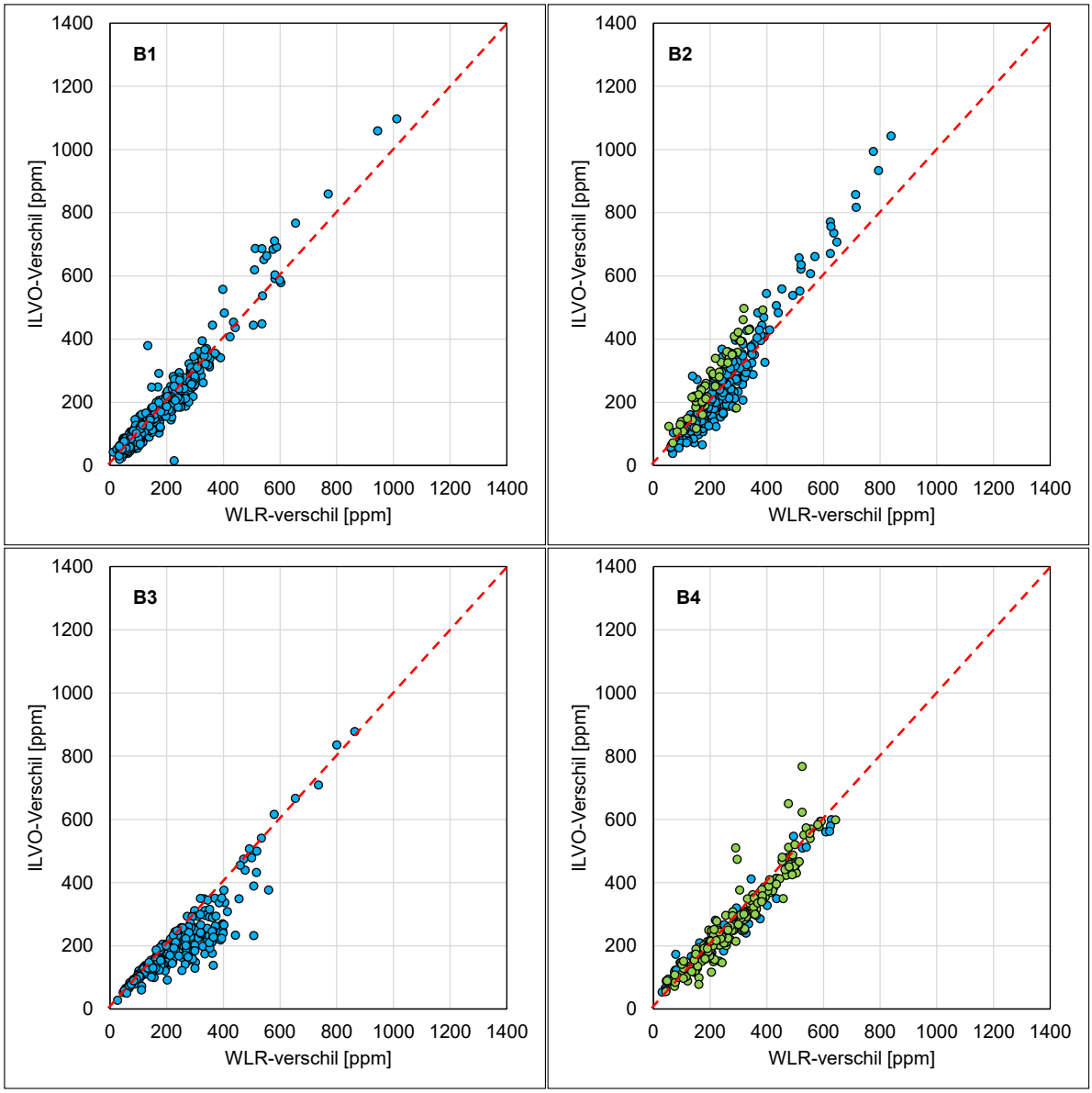
Figuur C9: Verhouding tussen de gemeten ingaande CO_2-luchtconcentraties (daggemiddelden; bepaald door ILVO en WLR als minimumwaarde tussen west en oost buiten de stallen gedurende de gemeenschappelijke meetperiode), en de stalconcentraties afhankelijk van windrichting. Bij ILVO is een labkalibratie en bij WLR zowel een lab- als een veldkalibratie op de meetinstrumentdata toegepast. BuCO2: minimum ((zuid)west; (noord)oost) CO_2-ingaande luchtconcentraties. StCO2: CO_2-stalluchtconcentraties.



Figuur C10: Concentratieverschil voor NH_3 tussen de uitgaande stallucht en de ingaande (buiten)luchtconcentratie voor zowel de WLR- als de ILVO-metingen. Verschillende combinaties van sensoren worden in de figuur met verschillende kleuren weergegeven (blauw, groen, rood). Negatieve waarden betekent dat de concentratie buiten hoger was dan binnen. Aangezien het hier om een vergelijking van sensormetingen gaat werden alle datapunten meegenomen, bij de berekening van de emissies werden deze weggelaten.



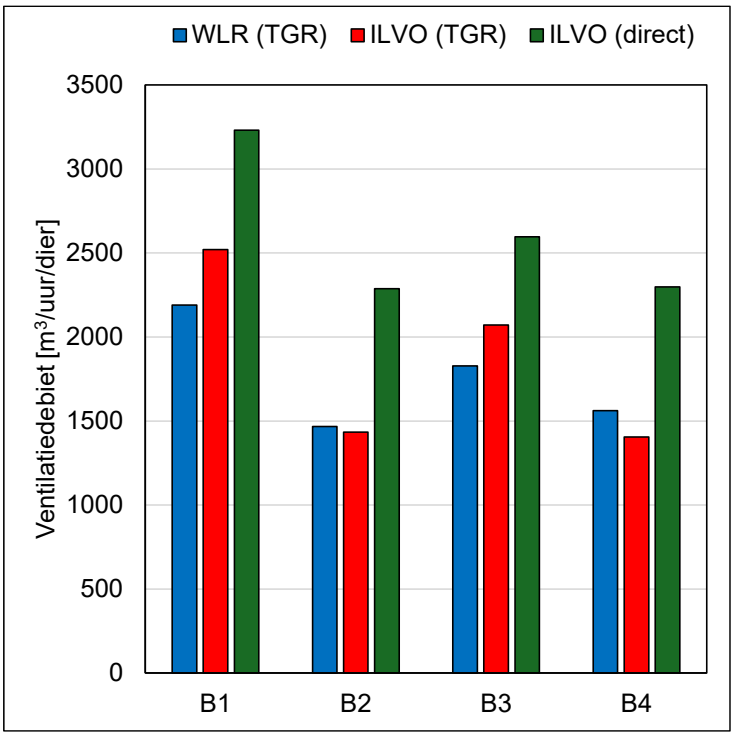
Figuur C11: Concentratieverschil voor CH_4 tussen de uitgaande stallucht en de ingaande (buiten)luchtconcentratie voor zowel de WLR- als de ILVO-metingen. Verschillende combinaties van sensoren worden in de figuur met verschillende kleuren weergegeven (blauw, groen). Bij locatie B1 zijn geen WLR-metingen uitgevoerd.



Figuur C12: Concentratieverschil voor CO_2 tussen de uitgaande stallucht en de ingaande (buiten)luchtconcentratie voor zowel de WLR- als de ILVO-metingen. Verschillende combinaties van sensoren worden in de figuur met verschillende kleuren weergegeven (blauw, groen).

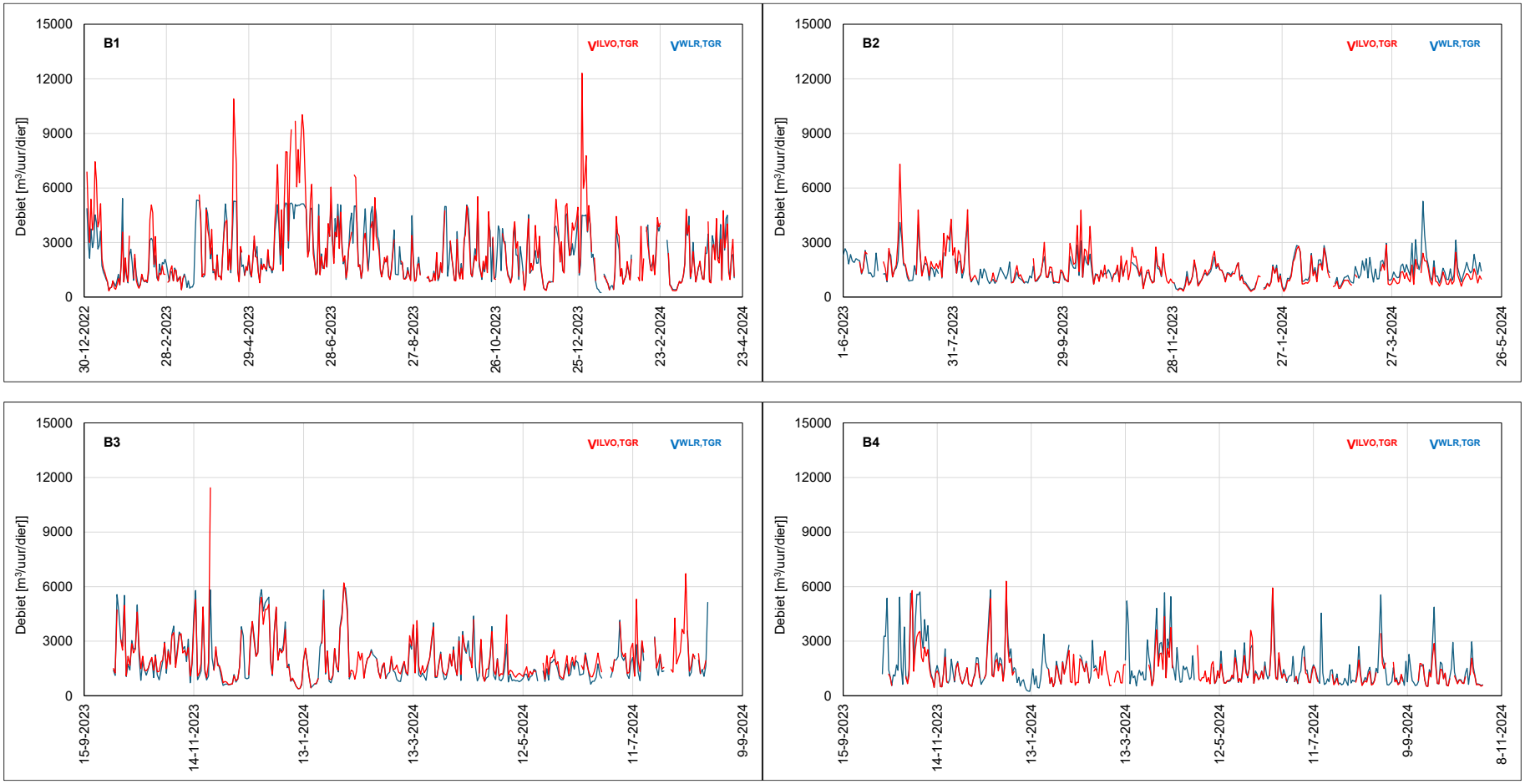
Uitbreiding D Aanvullende informatie over ventilatiedebietbepalingen

In deze Uitbreiding worden de gemiddelde waarden (Figuur D1) en visuele waarnemingen (tijdreeksen en Bland-Alman plots; Figuur D2 t/m D5) voor de ventilatiedebietbepalingen weergegeven. Figuur D2 (tijdreeks) en Figuur D3 (Bland-Altman plots) geven grafische informatie over de bepalingen van het ventilatiedebiet met de indirecte methoden zoals toegepast door ILVO en WLR. De grote verschillen die te zien zijn bij hoge ventilatiedebieten (> 5000 m^3/uur/dier) zijn voornamelijk gerelateerd aan de minimale ΔCO_2 die door WLR is toegepast om rekening te houden met de nauwkeurigheid van de gebruikte sensoren (zie Hoofdstuk 2.3.1 bij Mosquera e.a., 2026). In Figuur D4 (tijdreeks) en Figuur D5 (Bland-Altman plots) wordt hetzelfde gedaan voor de bepalingen van het ventilatiedebiet met de door ILVO toegepaste directe en indirecte methode. In Figuur D6 wordt getoond wat het verschil is tussen het berekende ingaande en uitgaande ventilatiedebiet bij de directe ILVO-methode ten opzichte van het aantal meeturen dat beschikbaar is om het daggemiddelde te berekenen.

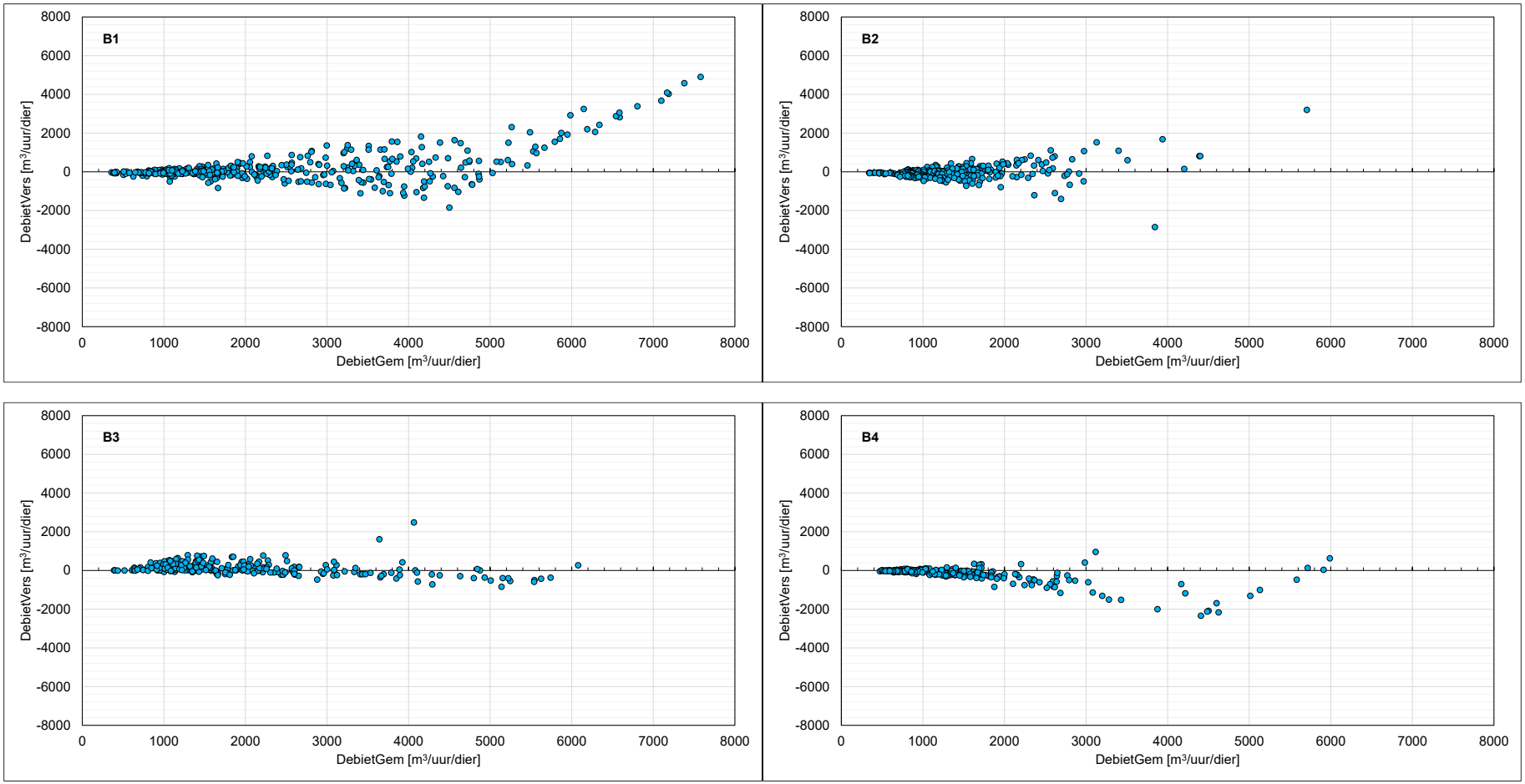


Figuur D1: Per locatie, gemiddeld ventilatiedebiet via directe bepalingen (direct, alleen door ILVO uitgevoerd) of door gebruik te maken van indirecte bepalingen met de tracergas ratiomethode (TGR; door zowel ILVO als WLR uitgevoerd).

Indirecte tracergas ratiomethode ILVO ($V^{ILVO,TGR}$) versus Indirecte tracergas ratiomethode WLR ($V^{WLR,TGR}$)

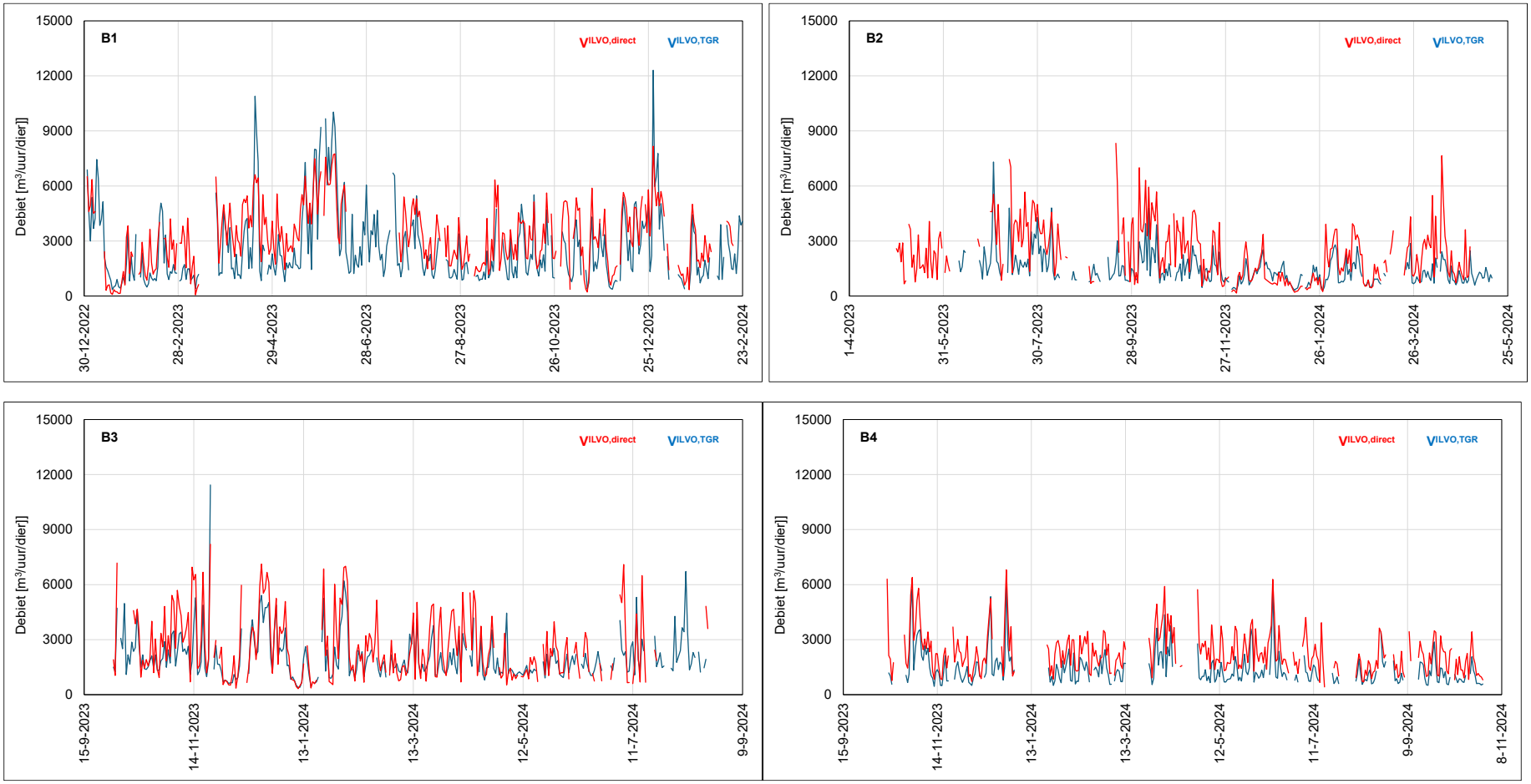


Figuur D2: Per locatie, tijdreeks van het ventilatiedebiet (daggemiddelden) geschat op basis van indirecte bepalingen met de tracergas ratiomethode uitgevoerd door ILVO en WLR.

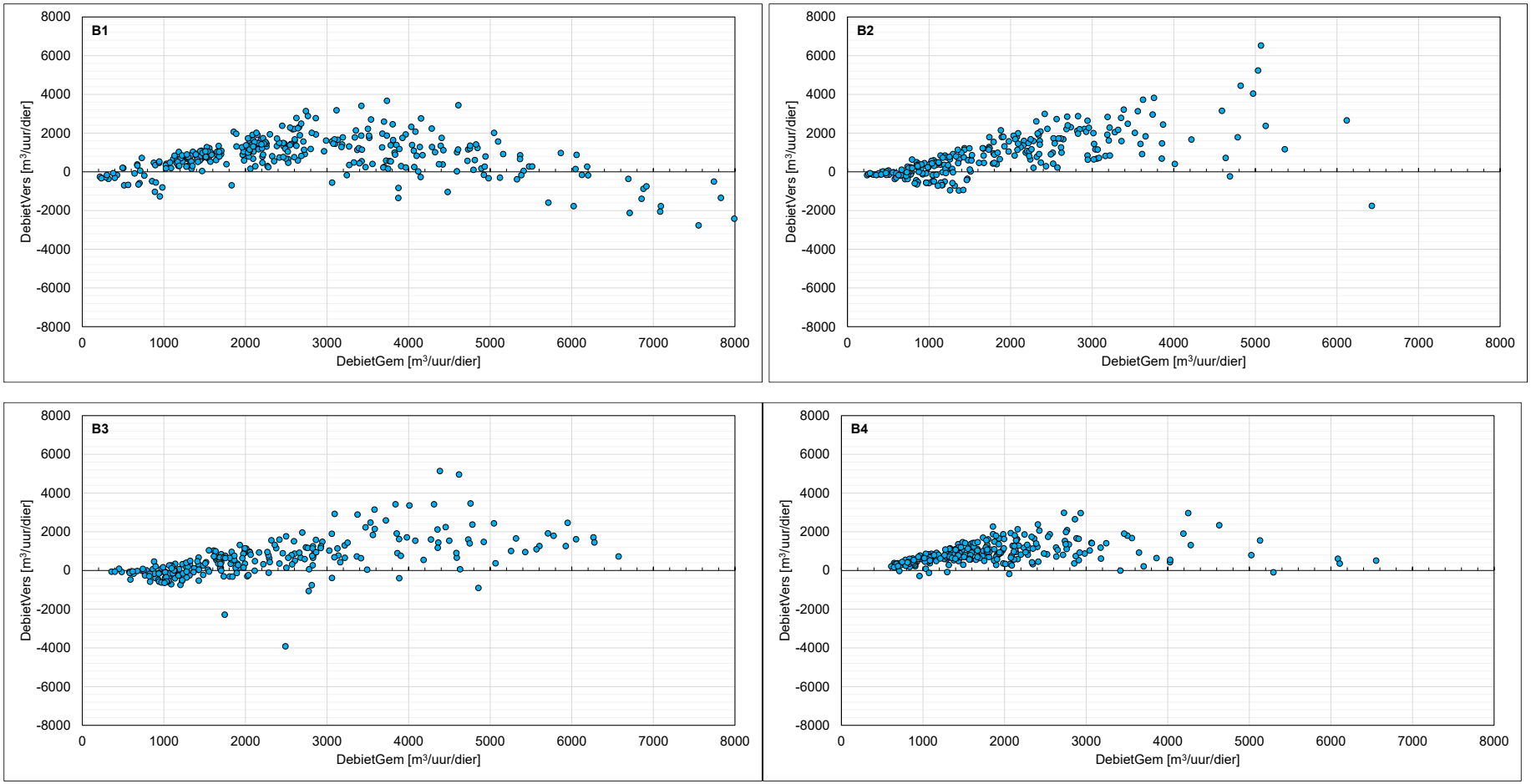


Figuur D3: Per locatie, Bland-Altman plots van het verschil (ILVO-WLR) ten opzichte van de gemiddelde waarde van het ventilatiedebiet (daggemiddelden) geschat op basis van indirecte bepalingen met de tracergas ratiomethode uitgevoerd door ILVO en WLR.

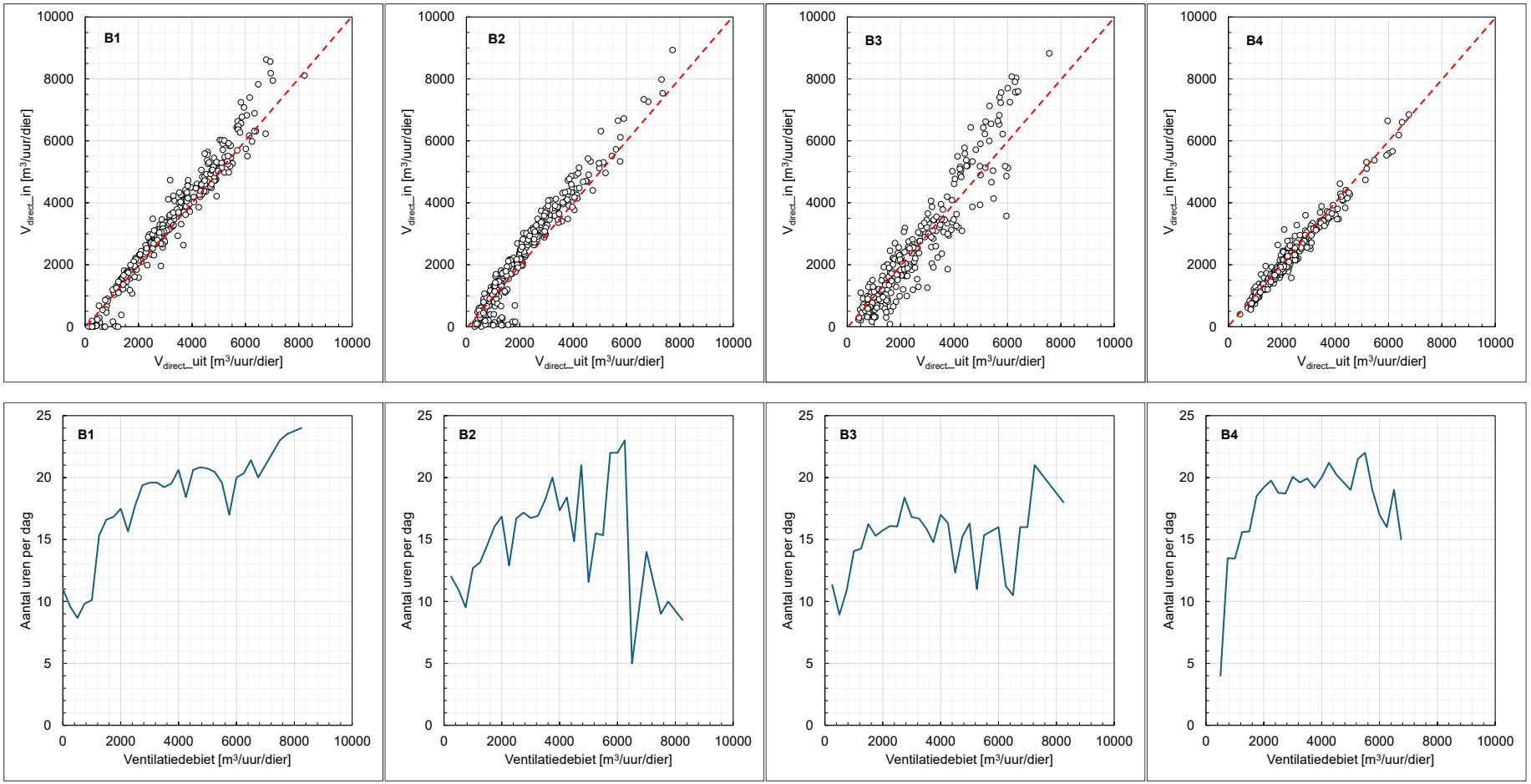
Directe methode ILVO ($V^{ILVO,direct}$) versus Indirecte tracergas ratiomethode ILVO ($V^{ILVO,TGR}$)



Figuur D4: Per locatie, tijdreeks van het ventilatiedebiet (daggemiddelden) geschat op basis van directe bepalingen (direct, door ILVO uitgevoerd) of door gebruik te maken van indirecte bepalingen met de tracergas ratiomethode (TGR; door ILVO uitgevoerd).



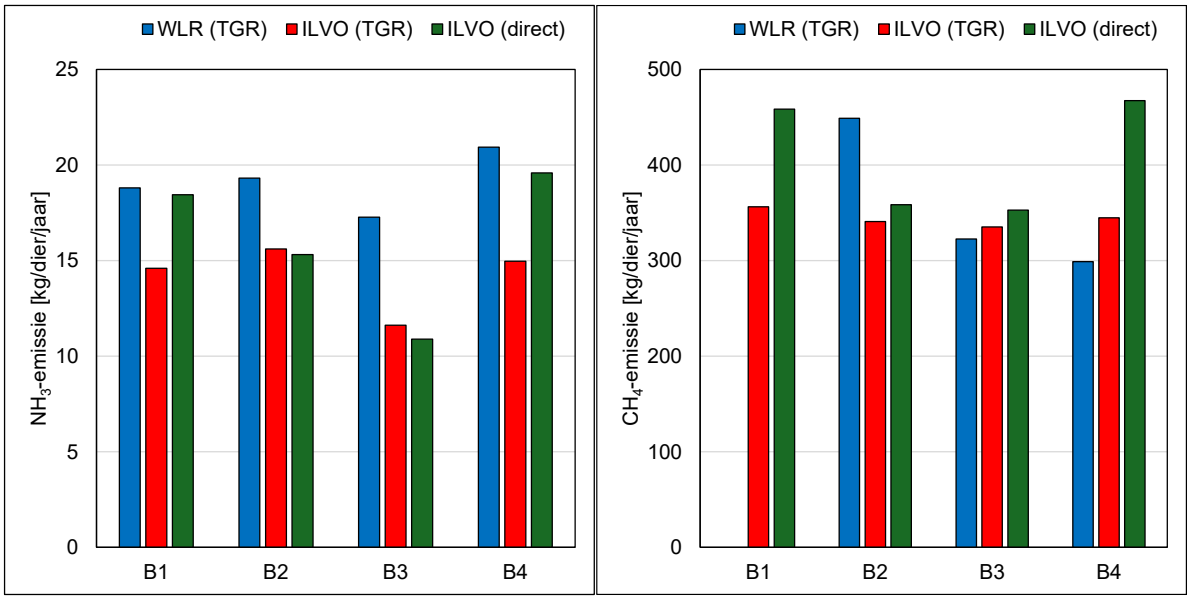
Figuur D5: Per locatie, Bland-Altman plots van het verschil (direct-indirect) ten opzichte van de gemiddelde waarde van het ventilatiedebiet (daggemiddelden) geschat op basis van directe bepalingen (direct, door ILVO uitgevoerd) of door gebruik te maken van indirecte bepalingen met de tracergas ratiomethode (TGR; door ILVO uitgevoerd).



Figuur D6: Boven: per locatie, relatie tussen inkomende (V_{direct_in}) en uitgaande (V_{direct_uit}) luchtstromen bij gebruik van de directe bepaling van het ventilatiedebiet (ILVO). Onder: per locatie en gemiddeld ventilatiedebiet, het aantal uren per dag dat gebruikt wordt om een daggemiddelde ventilatiedebiet te bepalen.

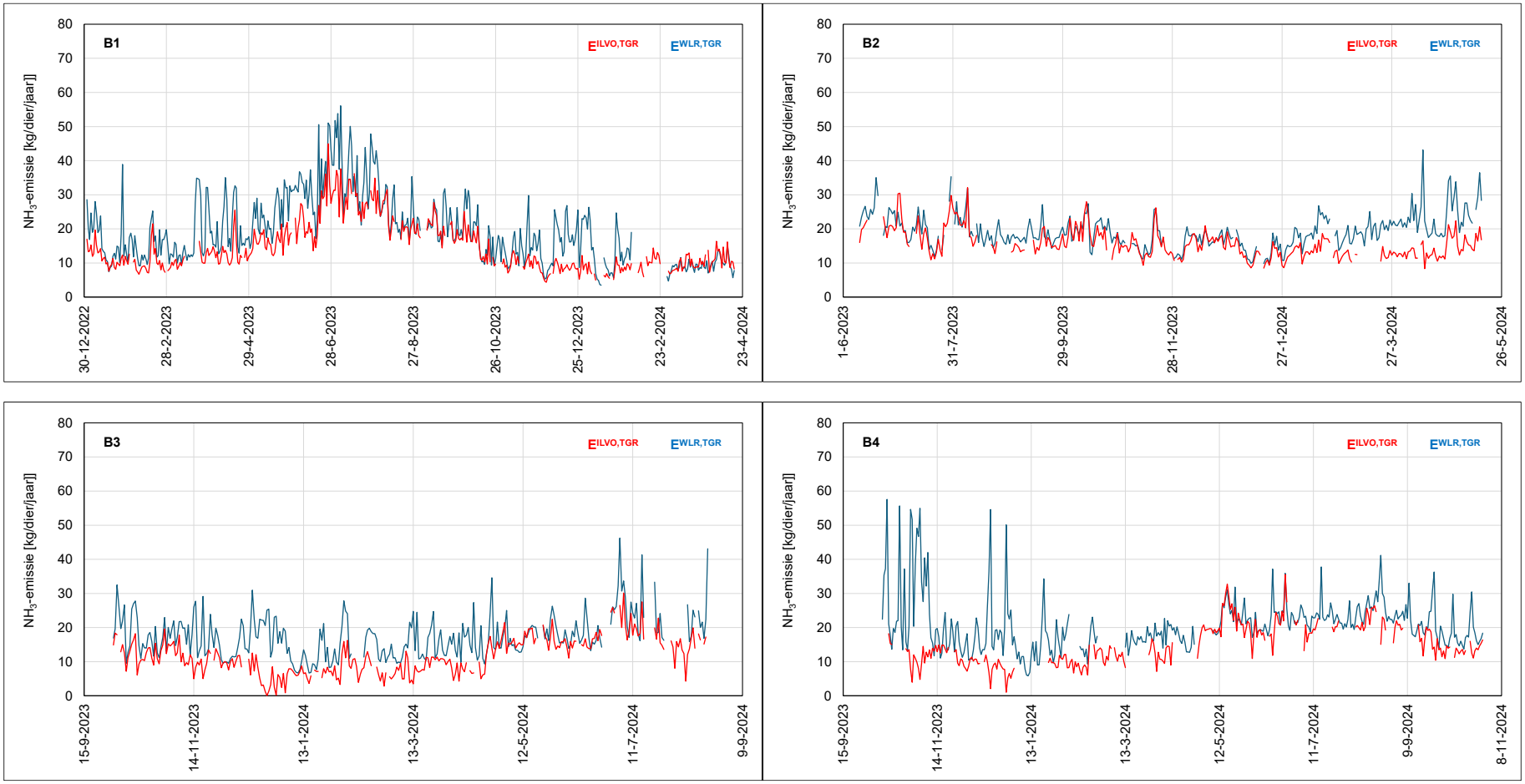
Uitbreiding E Aanvullende informatie over emissiebepalingen

In deze Uitbreiding worden de gemiddelde waarden (Figuur E1) en visuele waarnemingen (tijdreeksen en Bland-Alman plots; Figuur E2 t/m Figuur E9) voor de emissie-bepalingen van ILVO en WLR weergegeven. In Figuur E2 t/m Figuur E5 worden de resultaten van de indirecte methoden (TGR), zoals door ILVO en WLR toegepast voor het bepalen van de emissies van NH_3 en CH_4, met elkaar vergeleken. In Figuur E6 t/m Figuur E9 wordt hetzelfde gedaan voor de bepalingen van het ventilatiedebiet met de door ILVO toegepaste directe en indirecte methode. De tijdreeksen van de metingen die door TNO (remote sensing methode) en ILVO (directe methode; een aantal dagen vóór, tijdens en een aantal dagen na de door TNO uitgevoerde metingen) zijn uitgevoerd, worden in Figuur E10 (NH_3), Figuur E11 (CH_4), en Figuur E12 (gedetailleerde visualisatie van de door ILVO en TNO gelijktijdige NH_3- en CH_4-emissies (uurwaarden) bij meetlocatie B3) gepresenteerd. In Figuur E13 worden de pluimmetingen (TNO remote sensing methode) en de positie van de verschillende bronnen (melkveestal en andere bronnen uit de omgeving) grafisch weergegeven. De gemiddelde emissieniveaus die door TNO en ILVO zijn bepaald, worden in Tabel E1 samengevat. In Figuur E15 en E16 wordt een set van meetpluimen voor een losse melkveestal (zonder andere bronnen in de omgeving) weergegeven die door TNO gebruikt is voor het ontwikkelen van de remote sensing methode, en de set van meetpluimen die bij meetlocatie B4 zijn gemeten.

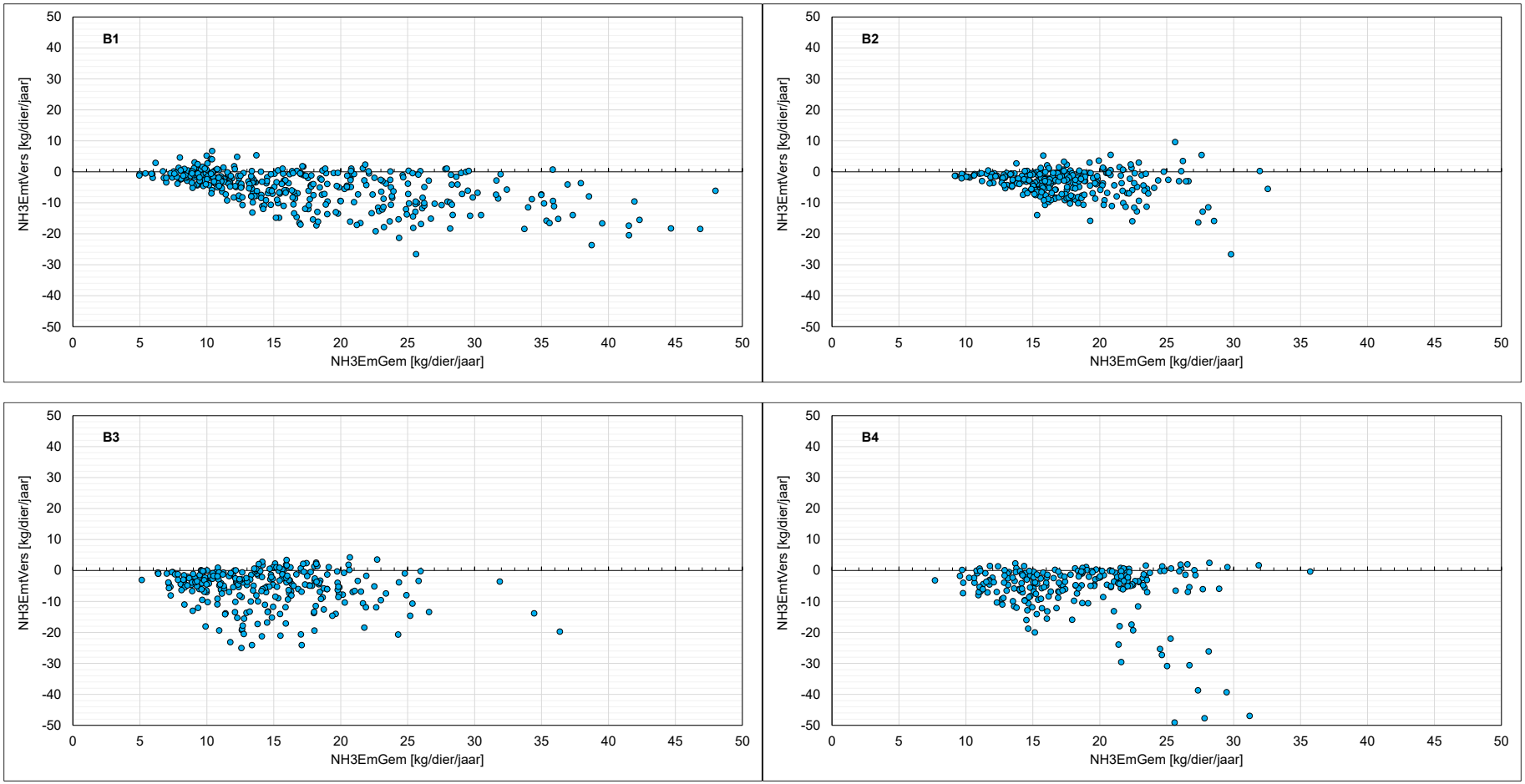


Figuur E1: Per locatie, NH_3-emissie (links) en CH_4-emissie (rechts) en via directe bepalingen (direct, alleen door ILVO uitgevoerd) of door gebruik te maken van indirecte bepalingen met de tracergas ratiomethode (TGR; door zowel ILVO als WLR uitgevoerd).

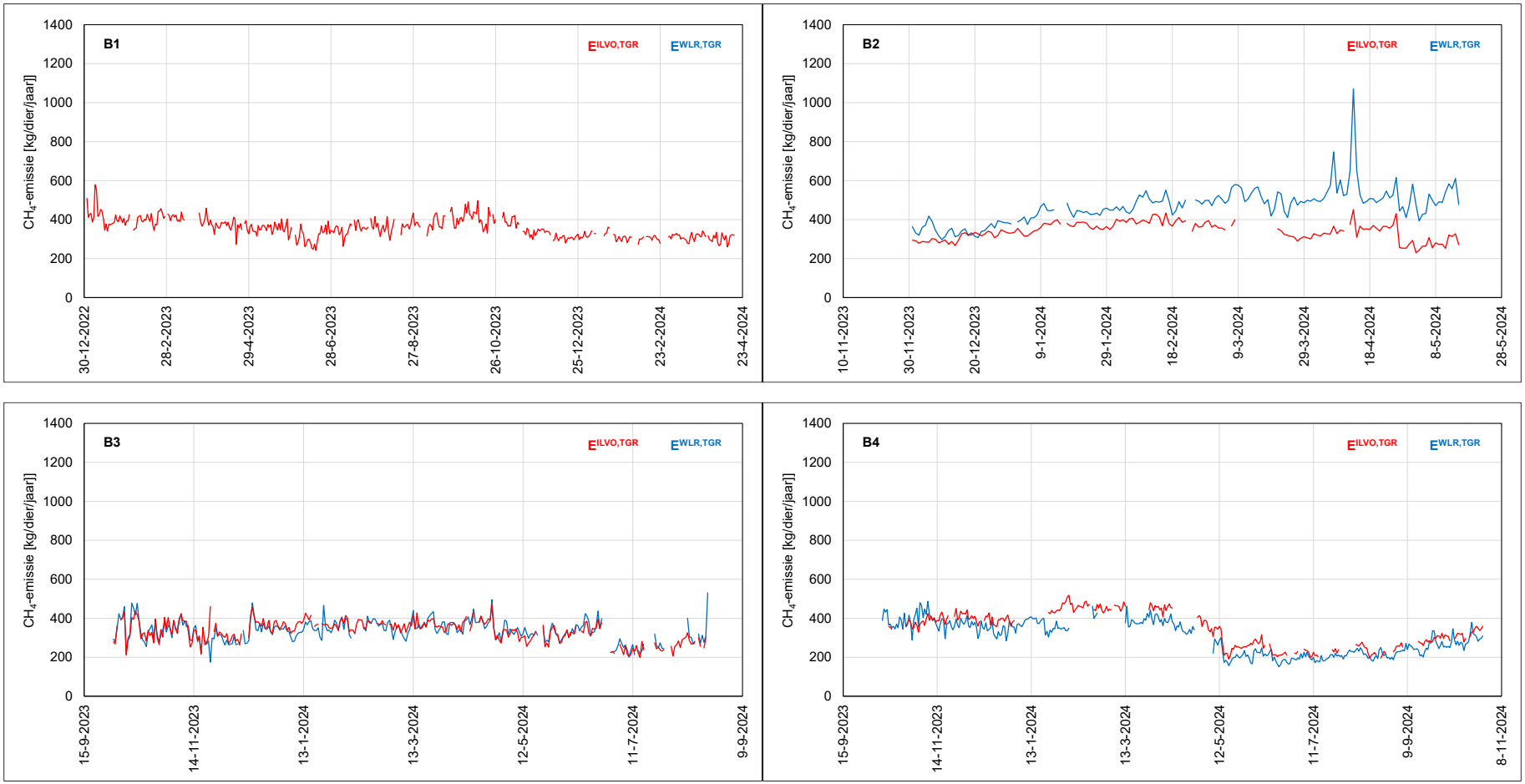
Indirecte tracergas ratiomethode ILVO ($E^{ILVO,TGR}$) versus Indirecte tracergas ratiomethode WLR ($E^{WLR,TGR}$)



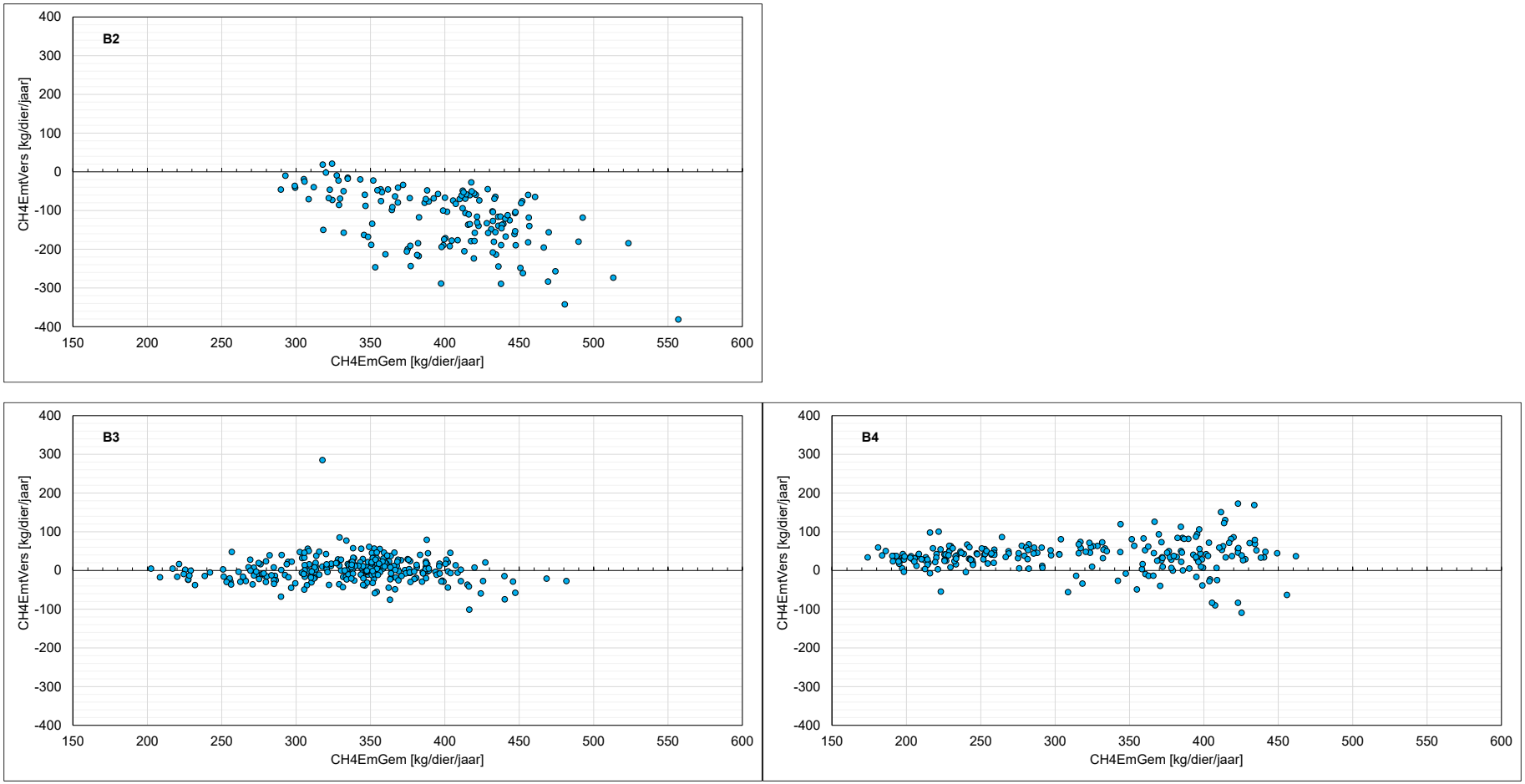
Figuur E.2: Per locatie, tijdreeks van de NH_3-emissie (daggemiddelden) geschat op basis van indirecte bepalingen via de tracergas ratiomethode (TGR; door ILVO en WLR uitgevoerd).



Figuur E.3: Per locatie, Bland-Altman plots van het verschil (ILVO-WLR) ten opzichte van de gemiddelde waarde van de NH_3-emissie (daggemiddelden) geschat op basis van indirecte bepalingen via de tracergas ratiomethode (TGR; door ILVO en WLR uitgevoerd).

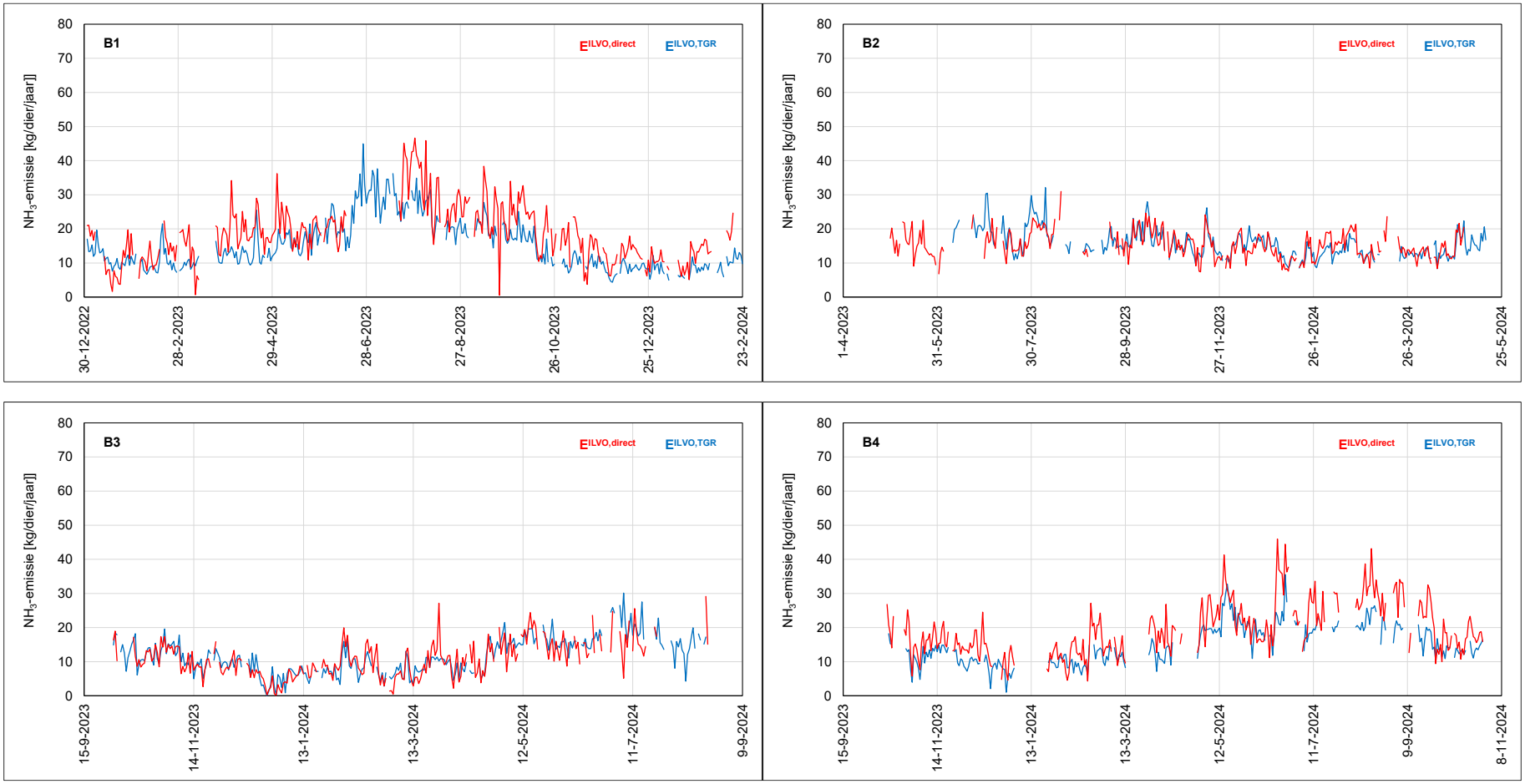


Figuur E.4: Per locatie, tijdreeks van de CH_4-emissie (daggemiddelden) geschat op basis van indirecte bepalingen via de tracergas ratiomethode (TGR; door ILVO en WLR uitgevoerd).

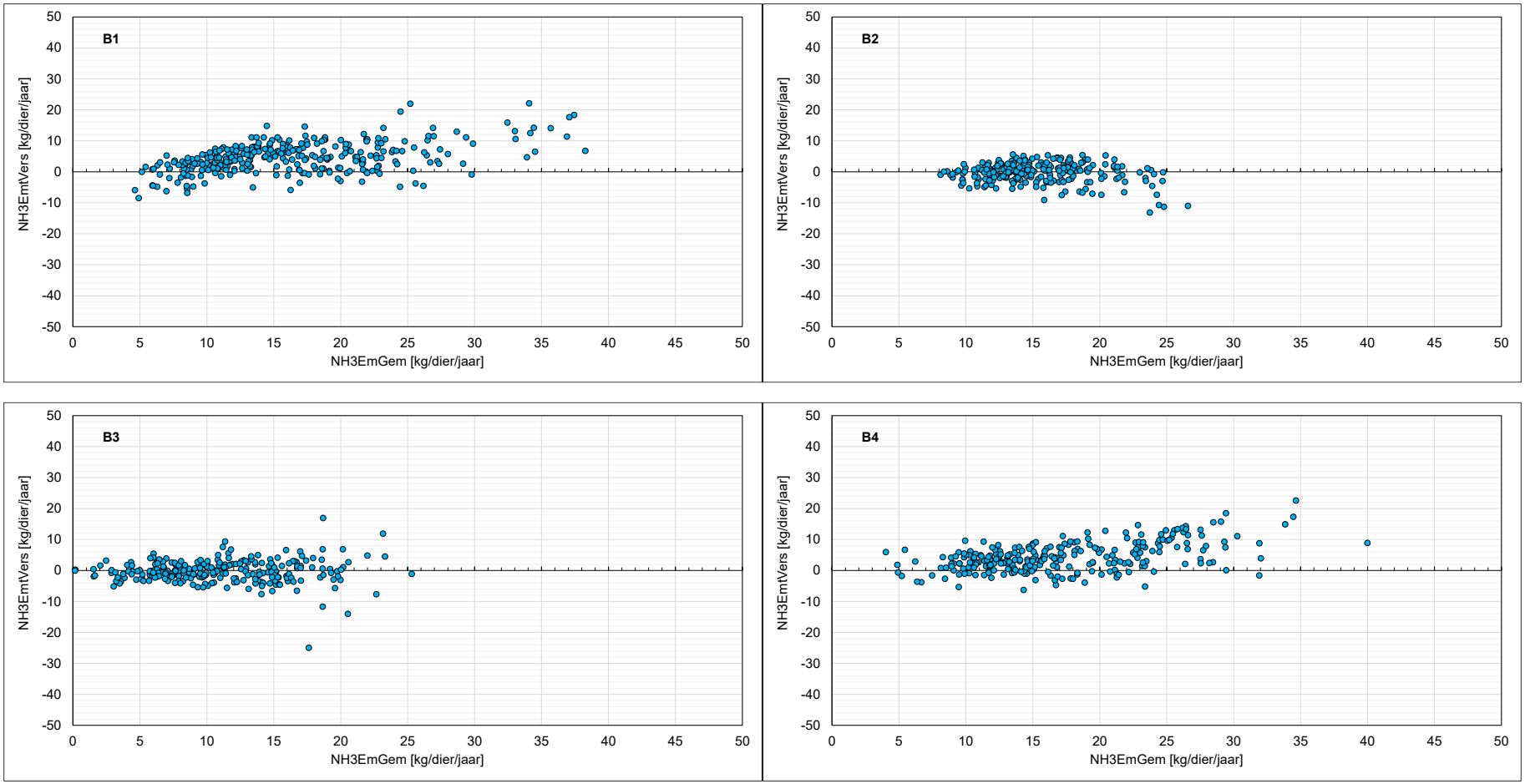


Figuur E.5: Per locatie, Bland-Altman plots van het verschil (ILVO-WLR) ten opzichte van de gemiddelde waarde van de CH_4-emissie (daggemiddelden) geschat op basis van indirecte bepalingen via de tracergas ratiomethode (TGR; door ILVO en WLR uitgevoerd).

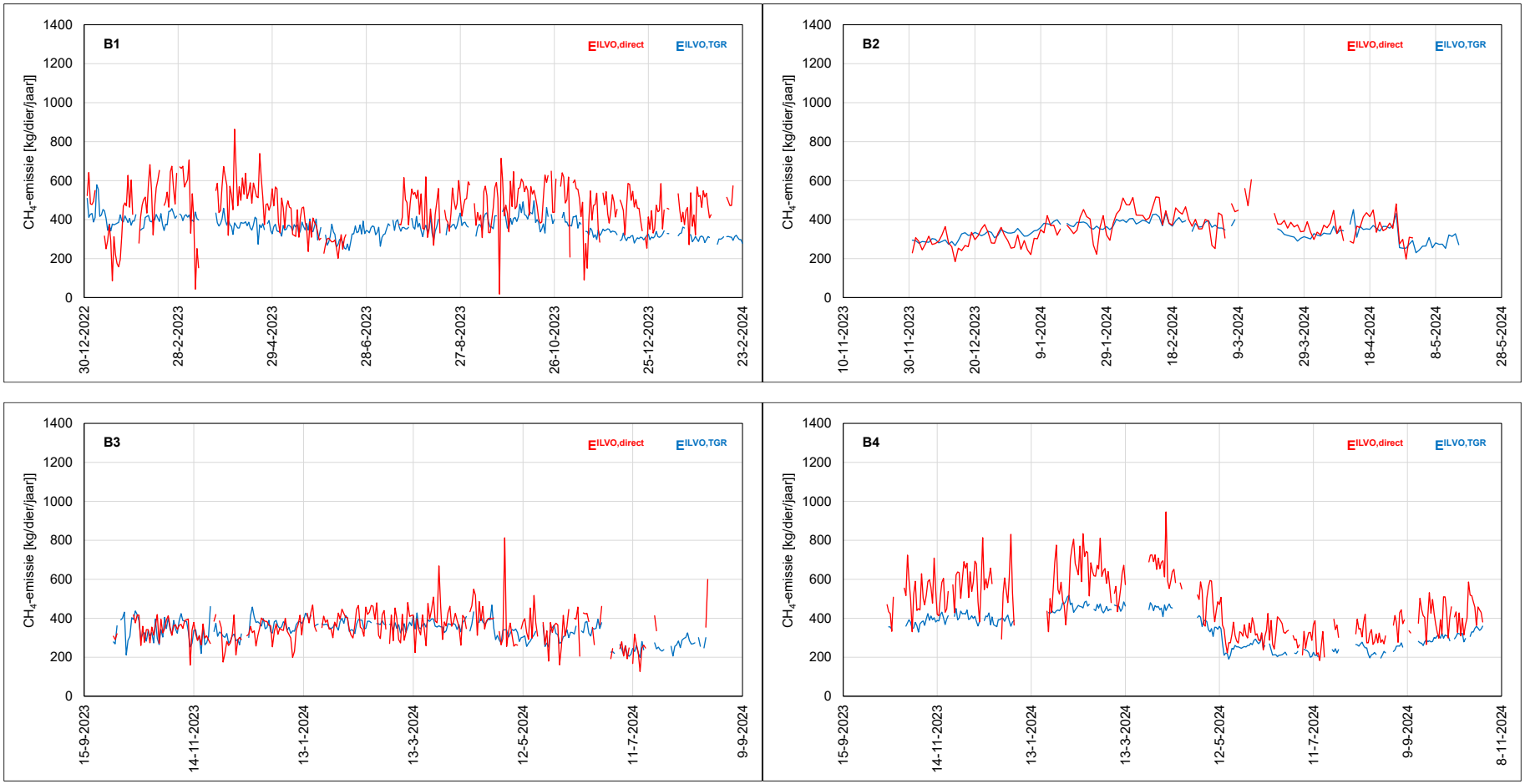
Directe methode ILVO ($E^{ILVO,direct}$) versus Indirecte tracergas ratiomethode ILVO ($E^{ILVO,TGR}$)



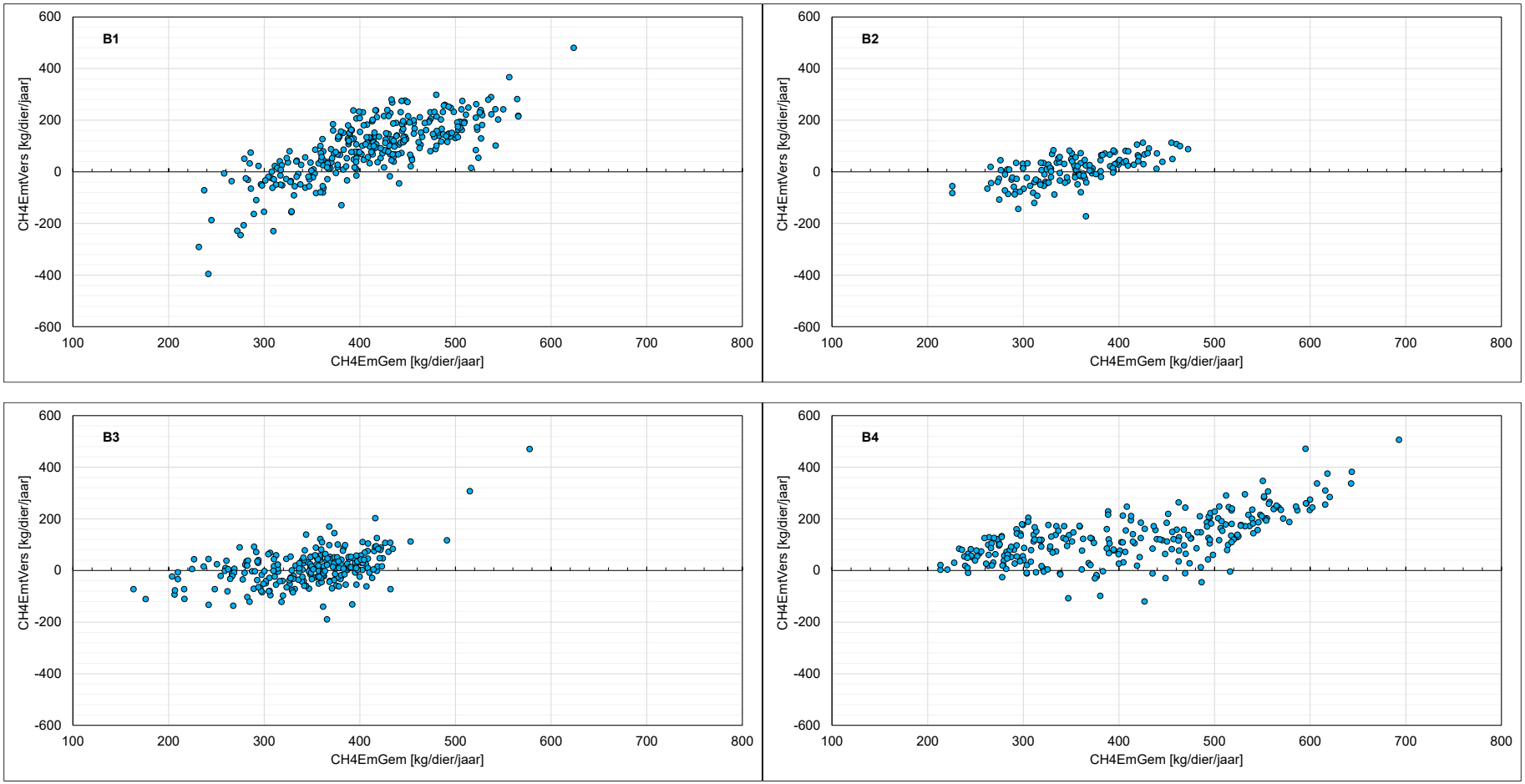
Figuur E.6: Per locatie, tijdreeks van de NH_3-emissie (daggemiddelden) geschat op basis van directe bepalingen (alleen door ILVO uitgevoerd) en indirecte bepalingen via de tracergas ratiomethode (TGR; door ILVO uitgevoerd).



Figuur E.7: Per locatie, Bland-Altman plots van het verschil (direct-indirect) ten opzichte van de gemiddelde waarde van de NH_3-emissie (daggemiddelden) geschat op basis van directe (ILVO) en indirecte (ILVO) bepalingen via de tracergas ratiomethode (TGR).

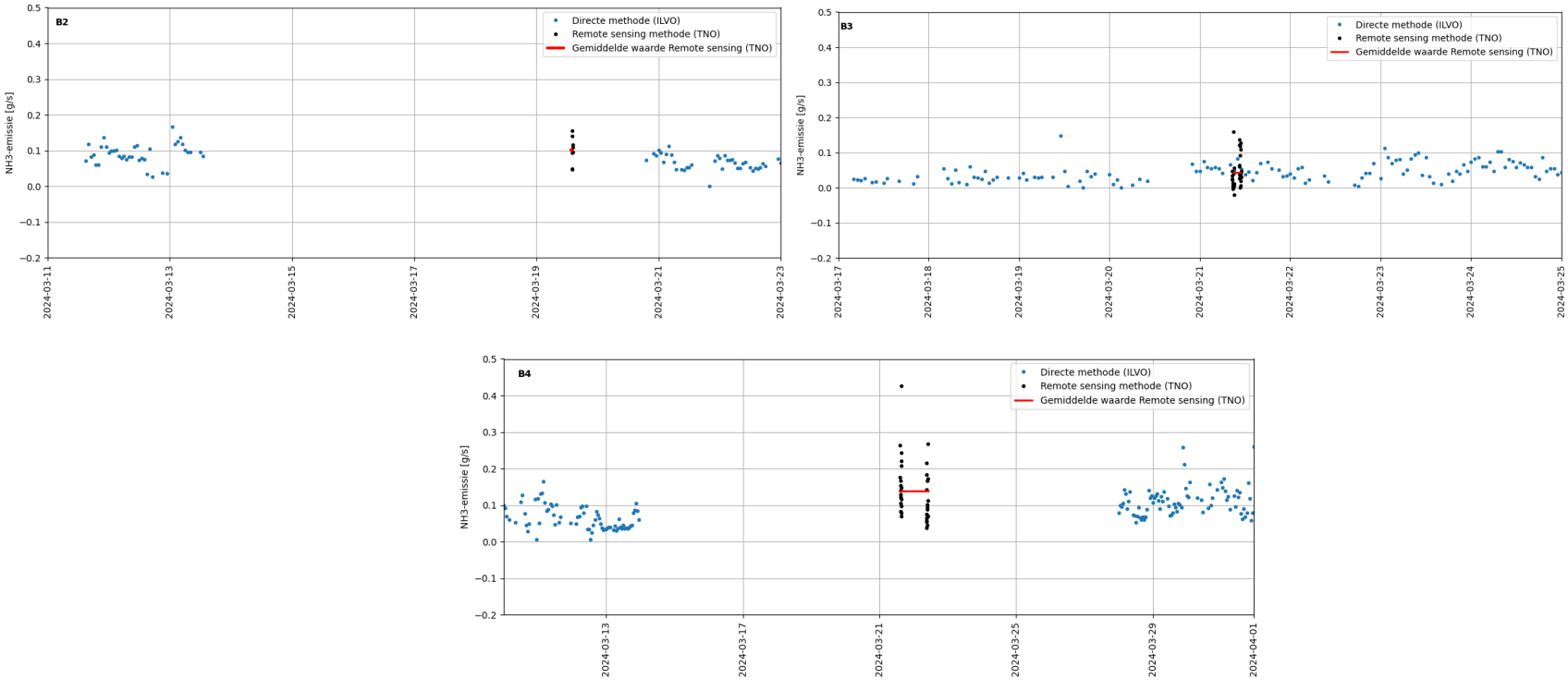


Figuur E.8: Per locatie, tijdreeks van de CH_4-emissie (daggemiddelden) geschat op basis van directe bepalingen (alleen door ILVO uitgevoerd) en indirecte bepalingen via de tracergas ratiomethode (TGR; door ILVO uitgevoerd).

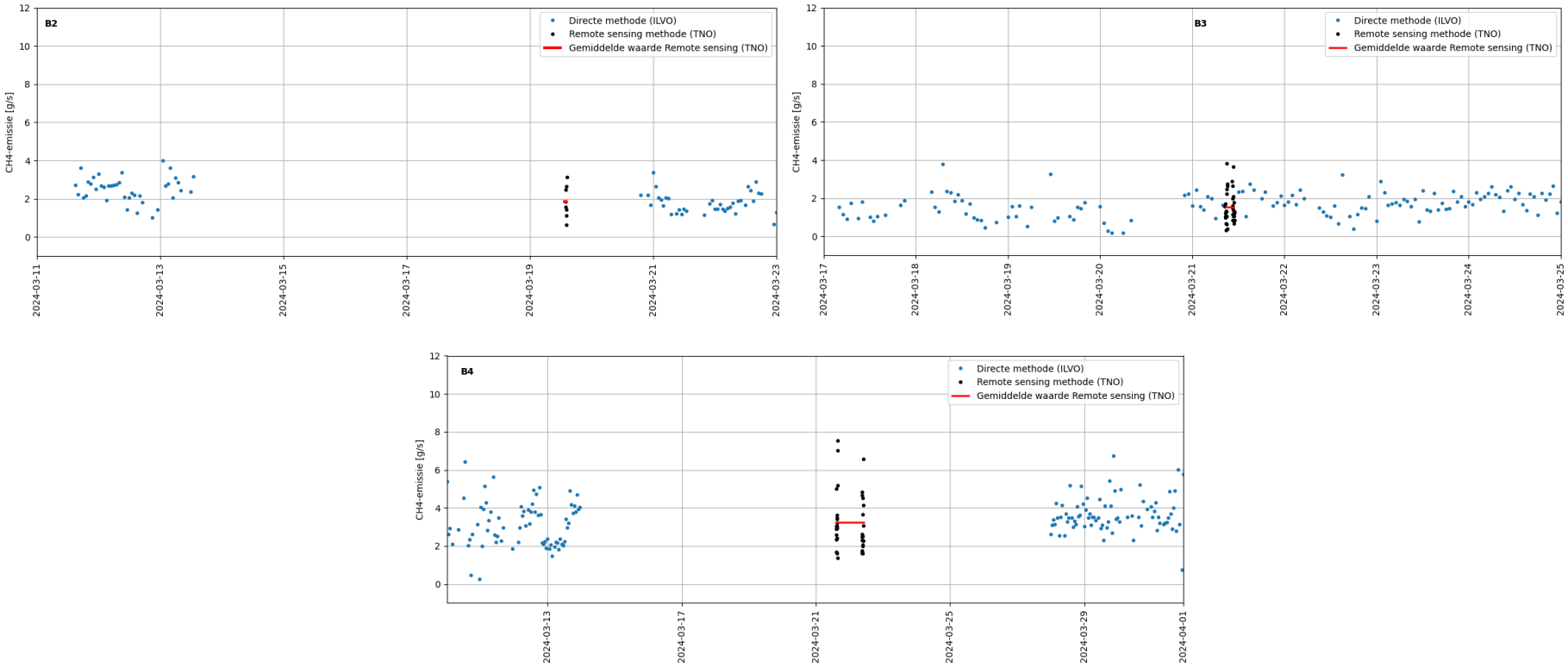


Figuur E.9: Per locatie, Bland-Altman plots van het verschil (direct-indirect) ten opzichte van de gemiddelde waarde van de CH_4-emissie (daggemiddelden) geschat op basis van directe (ILVO) en indirecte (ILVO) bepalingen via de tracergas ratiomethode (TGR).

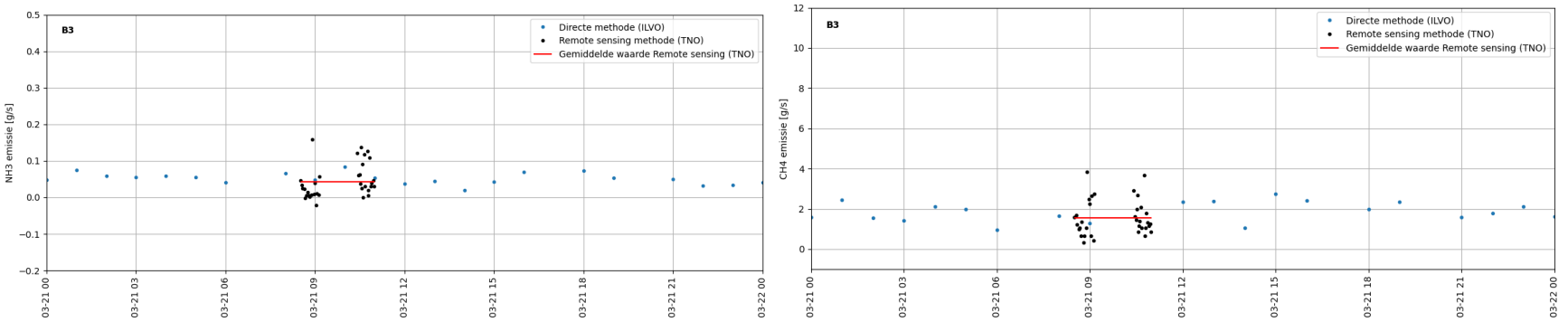
Directe methode ILVO ($E^{ILVO,direct}$) versus Remote sensing methode van TNO ($E^{TNO,remote}$), zie ook Bronsveld e.a., 2026 voor meer details



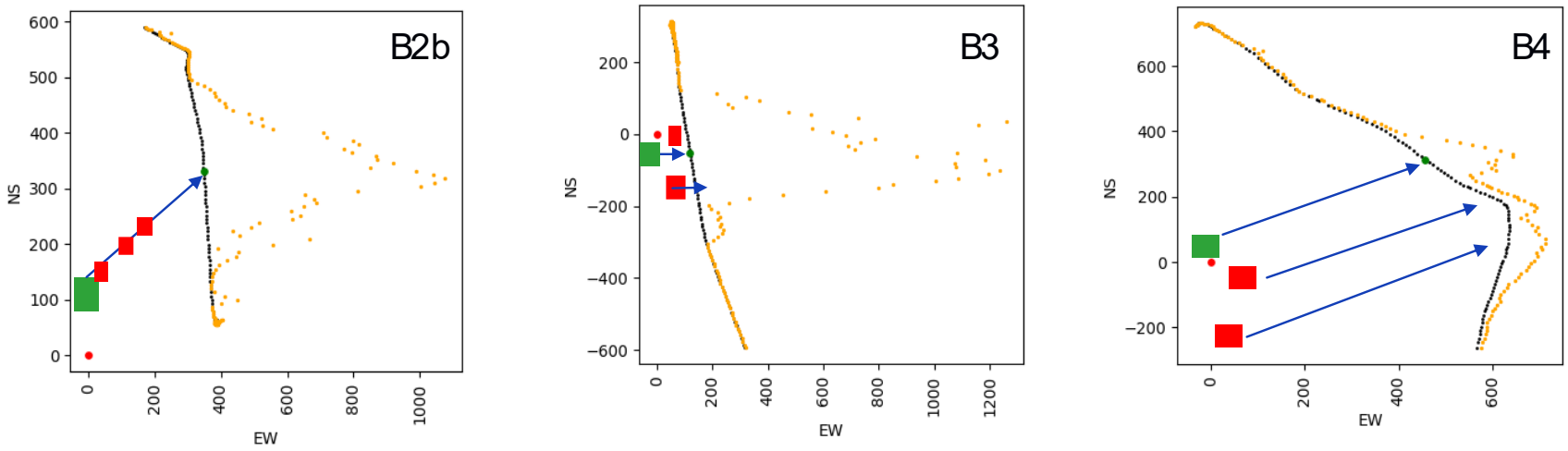
Figuur E.10: Per locatie, overzicht van de NH_3-emissie (uurwaarden) geschat op basis van directe bepalingen (door ILVO uitgevoerd) en remote sensing bepalingen (door TNO uitgevoerd).



Figuur E.11: Per locatie, overzicht van de CH_4-emissie (uurwaarden) geschat op basis van directe bepalingen (door ILVO uitgevoerd) en remote sensing bepalingen (door TNO uitgevoerd).

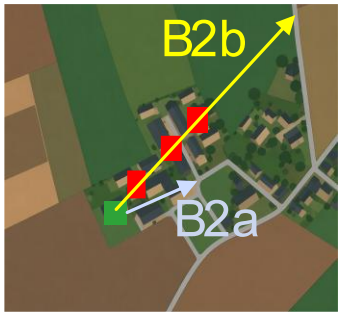


Figuur E.12: Voor meetlocatie B3, gedetailleerde visualisatie van de NH_3- en CH_4-emissies (uurwaarden) geschat op basis van directe metingen (door ILVO uitgevoerd) en remote sensing bepalingen (door TNO uitgevoerd).

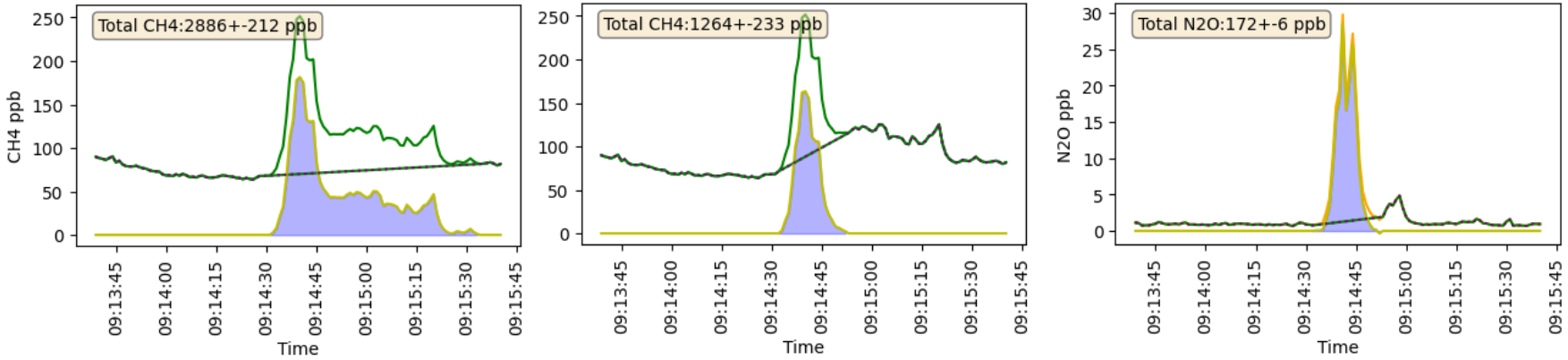


Figuur E.13: Posities van verschillende emissiebronnen tijdens de pluimmetingen. Op positie [0,0] bevindt zich het adres van de boerderij (welke niet altijd 1:1 overeenkomt met de te bemeten stal). EW = de oost-west afstand tot dit adres in meters (lengtegraad). NS = de noord-zuid afstand tot dit adres in meters (breedtegraad). De zwarte punten zijn de door de meetwagen voor iedere meetwaarde geregistreerde GPS-posities. De gele punten zijn een optelling van de oost-west coördinaten en de methaanmeetwaarden na achtergrondaftrek, bedoeld om een indruk te krijgen van de vorm van de emissiepluim over de weg. De blauwe pijlen geven de windrichting aan tijdens de meting, waarbij het groene puntje de projectie is van de locatie van de N_2O tracer (bij de stal) in de windrichting op het gereden traject.

Door de combinatie van windrichting op de meetdagen en ligging van de weg kan er binnen de gemeten pluimtransects lastig onderscheid gemaakt worden tussen bijdragen van de te bemeten stallen (groene blokjes) en emitterende naburen (rode blokjes). Bij B2 zijn echter ritten op verschillende afstanden uitgevoerd, gelabeld met B2a en B2b (zie figuur hieronder E14). Voor de berekening van de emissiewaarden voor B2 zijn dan ook alleen de metingen in de B2a set gebruikt, waarbij er geen andere bronnen in de windlijn aanwezig zijn. Analyse van alleen B2b geeft een emissieschatting die meer dan 4 maal te hoog is. Het is bij de remote metingen dus van groot belang dat bijdragen van andere bronnen in de windlijn goed in kaart worden gebracht.

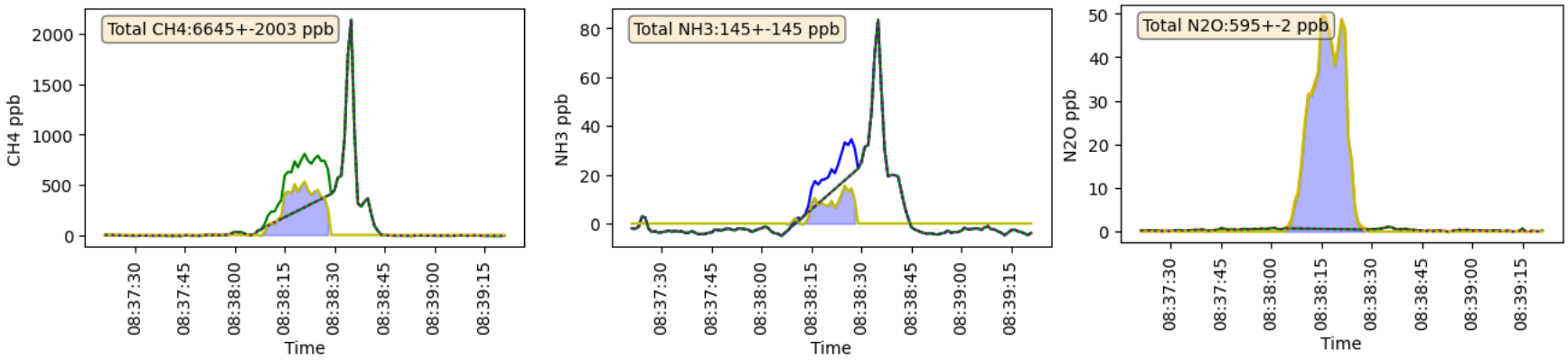


Figuur E.14: Windlijnen voor selecties van pluimdoorsneden B2a en B2b. Voor B2b liggen er 3 concurrerende bronnen in de windlijn en voor B2a geen concurrerende bronnen. B2a is op de weg dichter bij de stal gereden met de gemiddelde piekpositie van de pluim op 193 m afstand en B2b op de weg verder van de stal met gemiddelde piekpositie op 433 m afstand.



Figuur E.15: Voorbeeld van de toegepaste methode om de relevante pluimdoorsnede te selecteren voor een van de gereden pluimdoorsneden voor B4. Links: Gereden pluimdoorsnede met geselecteerde methaanpiek op basis van de volle pluimbreedte (paars). Midden: Geselecteerde methaanpiek op basis van de tracerbreedte. Rechts: de tracerpluimdoorsnede waarop de selectie en de tracer flux ratio berekening gebaseerd zijn.

Bij deze methode is de selectie van de bronbijdrage gebaseerd op de breedte van de tracerpluimdoorsnede, want op deze afstand zijn zowel de bemeten stal als de tracerfles bij benadering een puntbron en wordt dezelfde breedte van de emissiepluimen verwacht. De schuine afsnede onder de geselecteerde piek is een manier om te corrigeren voor de bijdrage van andere bronnen in hetzelfde tijdsslot. De vorm van deze bijdrage is niet bekend, maar de bijdrage is verwaarloosbaar (t.o.v. de achtergrond) aan het begin van het geselecteerde gebied en verhoogd aan het eind van het geselecteerde gebied. Een rechte lijn is daarom de beste afschatting van deze bijdrage. De vergelijking met de waarden van ILVO toont aan dat deze schatting binnen de onzekerheid voldoende is. Ook voor B3 kon deze benadering gebruikt worden voor de correctie, omdat de bemeten stal achter de concurrerende bronnen direct aan de weg ligt.



Figuur E.16: Voorbeeld van selectie van de stalbijdrage voor methaan (links) en ammoniak (midden) op basis van de breedte van de tracerpiek (rechts) voor bedrijf B3.

Tabel E1 Gemiddelde emissiewaarden uit Figuur E10 (Stallen B2 & B4; NH_3) en Figuur E11 (stallen B2 & B4; CH_4) en Figuur E12 (stal B3; NH_3 en CH_4). De gemiddelde waarden voor de directe ILVO-methode werden voor stallen B2 en B4 berekend voor de periode getoond in Figuur E10 en E11. Voor de resultaten van stal B3 worden het gemiddelde bepaald tussen 8u en 11u op de dag van de metingen door TNO.

	TNO		**ILVO**	
	CH_4 (g/s)	**NH_3 (g/s)**	**CH_4 (g/s)**	**NH_3 (g/s)**
B2	1,9 ± 0,3	0,08 ± 0.02	2,17	0,08
B3	1,6 ± 0,2	0,04 ± 0.01	1,48	0,06
B4	3,2 ± 0,3	0,14 ± 0.01	3,42	0,09

Contact

Arnout Declerck, Wetenschappelijk onderzoeker
Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek ILVO
Technologie & Voeding
Burg. Van Gansberghelaan 115
9820 Merelbeke-Melle (Belgium)
T +32 9 272 28 02
arnout.declerck@ilvo.vlaanderen.be

Deze publicatie kan ook geraadpleegd worden op:
www.ilvo.vlaanderen.be ⇨ nieuws ⇨ type ⇨ mededeling

Vermenigvuldiging of overname van gegevens toegestaan mits duidelijke bronvermelding.

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.

ILVO

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