



# Maatwerk met Meetwerk

## Liefstinghsbroek



2<sup>e</sup> rapportage  
Februari 2024



## Samenvatting

Om de effecten van stikstofemissies op het Natura 2000-gebied Liefstingsbroek te verminderen, stelt de “adviescommissie Gebiedsgerichte Aanpak (GGA) stikstof Liefstingsbroek” een plan van aanpak op. Een onderdeel van deze gebiedsgerichte aanpak is de pilot ‘Maatwerk met Meetwerk’. Het doel van de pilot is om te onderzoeken wat met de huidige stand van de techniek de (on)mogelijkheden zijn om beter zicht te krijgen op (onderdelen van) de stikstofkringloop.

In deze pilot wordt de emissie, concentratie en bulkdepositie van een aantal stikstofverbindingen gemeten. In het Natura 2000 gebied en in een straal van 3 km daaromheen staan meetopstellingen op ruim 30 locaties. Verder worden meteorologische metingen gedaan en registreren mensen uit het gebied welke activiteiten plaatvinden waarbij stikstofemissie optreedt. Op termijn zal voor de bedrijven waar niet gemeten wordt op basis van bedrijfsinformatie geprobeerd worden een specifiekere inschatting van de emissie te geven, en dit te relateren aan de omgevingsmetingen.

Vijf partijen werken op verzoek van de adviescommissie aan deze pilot mee. Dit zijn: Wageningen University & Research (WUR)<sup>1</sup>, OnePlanet Research Center, Universiteit van Amsterdam (UvA), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en Nederlandse organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO).



*Figuur 1 Liefstingsbroek (midden) en foto's van een aantal van de gebruikte meetopstellingen (van linksboven gezien met de klok mee: meetleiding in de stal, bulkdepositie met Alpha sampler, NitroSense sensorbox en Gradko passieve sampler).*

In de periode van november 2022 tot maart 2023 hebben de meetpartners hun meetopstellingen in het gebied geplaatst en zijn de metingen gestart. De resultaten van de afzonderlijke meetmethoden zijn nu van tenminste negen maanden beschikbaar. In deze rapportage zijn de resultaten opgenomen die eind december 2023 beschikbaar waren. Hieruit blijkt onder meer dat er regelmatig een relatie te leggen is tussen activiteiten in het gebied (zoals mest mixen, activiteit van zware (diesel)machines of mest uitrijden) en de concentratiewaarnemingen. De combinatie van data van verschillende partijen levert waardevolle inzichten op. Zo is een vergelijking te maken tussen de concentratiemetingen van het RIVM en UvA, en kunnen de meetwaarden van het RIVM gebruikt worden voor een omzetting van de meetwaarden van OnePlanet Research Center sensoren naar concentraties.

In de komende periode verzamelen de meetpartners meer data en analyseren die gezamenlijk. De metingen lopen nog door tot oktober 2024 en de volgende voortgangsrapportage is gepland voor september 2024 met eindrapportage in het eerste kwartaal van 2025.

<sup>1</sup> Bijdrage van Wageningen University & Research wordt verzorgd door Wageningen Livestock Research (WLR)

## Dankwoord

De meetpartners willen graag van de gelegenheid gebruik maken om een aantal mensen te bedanken voor hun medewerking aan de meetpilot.

- De vrijwilligers die zorgen voor het wisselen van de meetbuisjes.
- De betrokken agrariërs, vertegenwoordigers van natuurbeheerders en waterschap die het mogelijk maken op hun bedrijven/terreinen te meten.
- De mensen uit het gebied die hun activiteiten registreren en daarmee waardevolle informatie aanleveren.
- Prolander als belangrijke schakel met het gebied.
- MoeNieks, de vaste uitvalsbasis van de meetpartners.

## Leeswijzer

Deze rapportage is de tweede in een afgesproken reeks die regelmatig een overzicht geeft van de resultaten van de meetpilot en aan de adviescommissie wordt aangeboden. Het eerste deel (hoofdstukken 1 tot en met 3), is ten opzichte van de vorige rapportage weinig veranderd.

Hoofdstuk 1 beschrijft de context waarin het project wordt uitgevoerd. Hoofdstuk 2 geeft een korte situatieschets van Liefstingsbroek, daarna volgt in Hoofdstuk 3 per meetpartner een beschrijving van de meetmethoden.

Het tweede deel gaat in op de analyse en resultaten en is een uitbreiding ten opzichte van de vorige rapportage. De manier waarop data-analyse plaatsvindt, is opgenomen in hoofdstuk 4, gevolgd door hoofdstuk 5 waarin een selectie van voorlopige resultaten tot eind december 2023 staat. Hoofdstuk 6 geeft dan een eerste duiding en discussie van de resultaten, met name de combinaties tussen de verschillende metingen. Het trekken van conclusies over maatregelen blijft voorbehouden aan de meetwerkgroep/adviescommissie.

## Inhoudsopgave

Samenvatting.....	2
Dankwoord .....	3
Leeswijzer .....	3
Inhoudsopgave .....	4
1 Inleiding .....	5
1.1 Aanleiding.....	5
1.2 Doel adviescommissie .....	5
1.3 Doel meetpilot.....	6
1.4 Afbakening.....	6
1.5 Governance .....	6
1.6 Samenwerking.....	6
2 Situatie Liefstingsbroek .....	8
3 Meetplan .....	9
3.1 Vertaling doel in onderzoeksvragen en meetstrategie .....	9
3.2 Meetlocaties.....	11
3.3 Meetmethoden .....	11
3.4 Registratie van activiteiten.....	18
3.5 Meteostation.....	19
3.6 Datasysteem .....	20
4 Data-analyse.....	22
4.1 Analysemethode(n) .....	22
4.2 Combinaties van data.....	23
5 Voorlopige resultaten.....	24
5.1 Emissies veehouderijen.....	24
5.2 Concentraties buitenlucht.....	26
5.3 Depositie.....	31
6 Duiding en discussie .....	32
6.1 Registratie activiteiten .....	32
6.2 Meteorologie.....	32
6.3 Vergelijking NH <sub>3</sub> concentratie metingen (RIVM-UvA).....	32
6.4 Buisjes en sensoren voor NH <sub>3</sub> concentratie metingen (RIVM-OnePlanet Research Center) .....	32
6.5 Emissie-concentratie metingen (WUR-OnePlanet Research Center) .....	34
6.6 Verstoringen .....	35
7 Tot slot.....	36
8 Referenties .....	37

## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding

In het kader van de Gebiedsgerichte Aanpak (GGA) Stikstof in Groningen wordt voor het gebied rond Liefstingsbroek een plan van aanpak opgesteld door een adviescommissie, de “GGA stikstof Liefstingsbroek”. De opdracht van de commissie is om een advies op te stellen voor de provincie Groningen met een gedragen pakket aan maatregelen om de mogelijke effecten van stikstofemissies op het Liefstingsbroek te verminderen. Deze adviescommissie heeft voorgesteld om, ten behoeve van de gebiedsgerichte aanpak, een leerzame pilot te organiseren in samenwerking met alle lokale betrokkenen, met implementatie van een combinatie van meettechnieken die geschikt zijn om op hoge temporele en/of ruimtelijke resolutie te meten.

Op verzoek van de adviescommissie zijn vijf partijen<sup>2</sup> (in vervolg meetpartners genoemd) gevraagd mee te werken aan deze pilot. Dit zijn:

- Wageningen University & Research (WUR)<sup>3</sup>,
- OnePlanet Research Center,
- Universiteit van Amsterdam (UvA),
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM),
- Nederlandse organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO).

Samen kijken deze partijen wat met de huidige stand van de techniek de mogelijkheden en onmogelijkheden zijn om beter zicht te krijgen op onderdelen van het atmosferische deel van de stikstofkringloop.

### 1.2 Doel adviescommissie

De adviescommissie maakt voor het opstellen van het advies gebruik van extra stikstof metingen uit deze meetpilot, maar daarnaast ook van water- en bodemonderzoeken, gesprekken met gebiedspartners, lokale boeren en omwonenden. Daarbij kijkt de commissie breed welke oplossingsrichtingen er mogelijk zijn om de natuur in het Liefstingsbroek te verbeteren en waarmee ook een toekomstbestendige positie voor de landbouw te realiseren is. De adviescommissie wil de resultaten van de meetpilot, in combinatie met andere informatie en metingen, gebruiken om de volgende doelen te bereiken:

- Inzicht krijgen in de NO<sub>2</sub> (stikstofdioxide) en NH<sub>3</sub> (ammoniak) concentraties in de buitenlucht in relatie tot emissie en depositie van stikstofverbindingen in een gebied met een straal van 3 km rondom het Natura 2000-gebied Liefstingsbroek.
- In beeld brengen van de verspreiding van deze stikstofverbindingen in tijd en ruimte.
- Inzicht krijgen in de stikstofbelasting:
  - Waar komt de stikstof vandaan?
  - Waar slaat de stikstof neer?
  - Wat zijn de meest kritische momenten van verhoogde stikstofbelasting?

<sup>2</sup> Eerder was ook Zicht op Stikstof opgenomen als meetpartij, in goed overleg wordt in deze meetpilot geen gebruik gemaakt van hun inbreng.

<sup>3</sup> Bijdrage van Wageningen University & Research wordt geleverd door Wageningen Livestock Research (WLR)



- De inzichten die meetgegevens opleveren gebruiken om zinvolle maatregelen te formuleren die de stikstofbelasting met maatwerk verminderen of anderszins de natuurkwaliteit verbeteren.

### 1.3 Doel meetpilot

Doel van de pilot is om met behulp van verschillende (deels experimentele) meettechnieken inzicht te krijgen in emissies, concentraties en depositie van stikstofverbindingen in Liefstingsbroek en in de directe omgeving daarvan. Centraal staat de vraag hoe de meettechnieken in samenhang tot inzichten kunnen leiden. Op basis van deze inzichten ontstaat direct of na verloop van tijd handelingsperspectief voor de belanghebbenden die betrokken zijn bij de gebiedsgerichte aanpak van Liefstingsbroek. Het doel is in paragraaf 3.1 vertaald naar een aantal onderzoeksvragen en een invulling van de meetstrategie.

### 1.4 Afbakening

Het doel van deze pilot is om meer inzicht te geven in de methoden waarmee de verschillende stikstofverbindingen gemeten en, op termijn, gemonitord kunnen worden. Het is binnen de gegeven randvoorwaarden (looptijd, budget, technologie, type bronnen, alleen metingen) niet mogelijk een volledig inzicht te verschaffen. Het gaat in deze meetpilot om het signaleren van veranderingen en relaties. Het gaat dus bijvoorbeeld niet om het toetsen van modellen of om het vaststellen van absolute emissie-/concentratie-/depositiewaarden.

### 1.5 Governance

De provincie Groningen is formeel opdrachtgever van de meetpartijen. Het toezicht op de uitvoering delegeert de provincie aan de (door haar ingestelde) adviescommissie. Op deze manier is geborgd dat het meetwerk goed aansluit op de behoefte van de adviescommissie om tot maatwerk in voorgestelde maatregelen te komen. De adviescommissie is de aanvrager en gebruiker van het onderzoek.

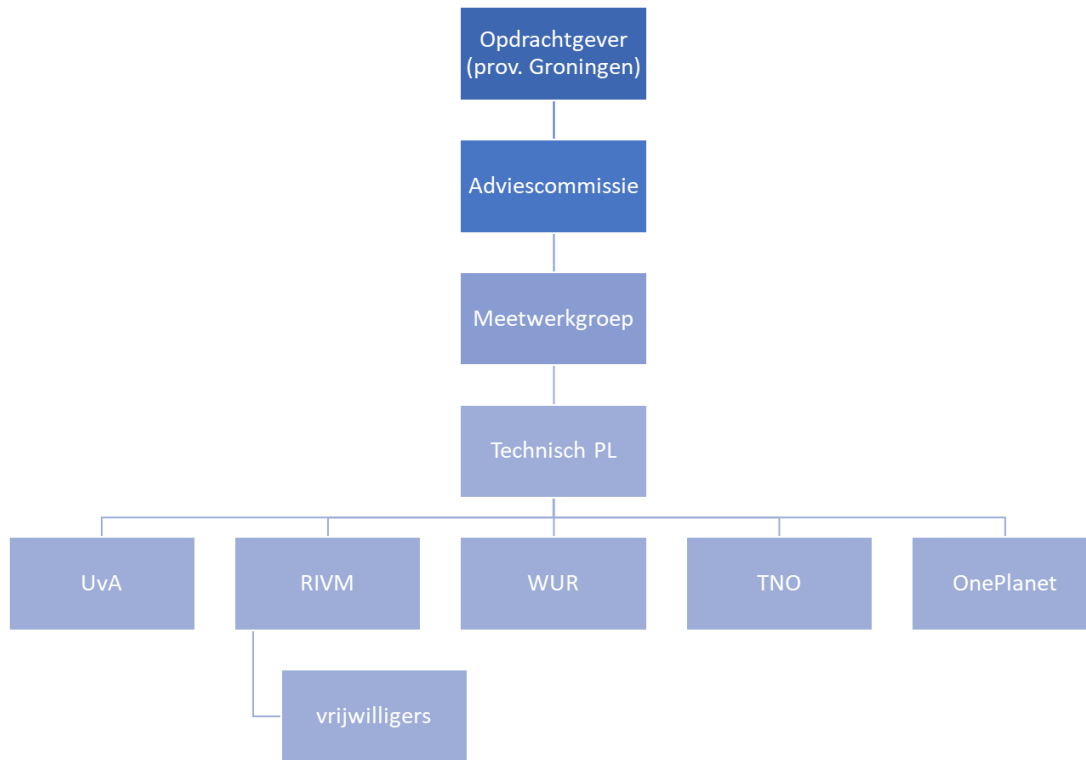
De adviescommissie heeft een meetwerkgroep ingesteld. Deze werkgroep informeert de adviescommissie over bevindingen uit het meetwerk die relevant zijn voor het formuleren van adviezen inzake maatwerk maatregelen.

Prolander is door de adviescommissie gevraagd om de contacten met alle partijen die actief zijn in het gebied te verzorgen.

### 1.6 Samenwerking

De vijf meetpartners hebben een onderlinge samenwerking afgesproken, zodat de meetdata voor alle meetpartners toegankelijk zijn en er in samenhang naar gekeken kan worden. Ook op het gebied van communicatie en intellectueel eigendom hebben de meetpartners afspraken vastgelegd.

De technisch projectleider (PL) neemt namens de meetpartners deel aan de maandelijkse bijeenkomsten van de meetwerkgroep. De meetwerkgroep rapporteert aan de adviescommissie.



*Figuur 2 Organisatiestructuur van de samenwerking.*

## 2 Situatie Liefstingsbroek

Het natuurgebied Liefstingsbroek is in augustus 2002 door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) aangemeld bij de Europese Commissie (EC) voor gebiedsbescherming onder de Europese Habitatrichtlijn (HR). In december 2004 is het gebied door de Europese Commissie op de lijst van beschermde gebieden geplaatst onder de naam “Liefstingsbroek” (sic) met het nummer NL2003028. De begrenzing van het Natura 2000-gebied is aangegeven op de topografische kaart (zie Figuur 3). Het totale gebied heeft een oppervlakte van 19,83 hectare. Naast Natura 2000-gebied is Liefstingsbroek ook benoemd tot nationaal bosreservaat (Mekkink, 2003; Bijlsma, 2008).



*Figuur 3 Locatie van Liefstingsbroek en detailkaart.*

Liefstingsbroek is een Natura 2000-gebied voor de habitattypen Blauwgraslanden (H6410), Beuken-eikenbossen met hulst (H9120) en Eiken-haagbeukenbossen (H9160A).

In de gebiedsanalyse van de programmatische aanpak stikstof (PAS) uit 2017 kwam naar voren dat in het referentiejaar 2014 sprake was van een matige overbelaste situatie van stikstof op Liefstingsbroek (volgens AERIUS M16L). In de recentere natuurdoelanalyse uit 2023 van provincie Groningen is dit ook het geval.



### 3 Meetplan

#### 3.1 Vertaling doel in onderzoeksvragen en meetstrategie

De doelen van deze meetpilot laten zich vertalen in een aantal onderzoeksvragen:

1. Wat zijn de mogelijkheden van de meettechnieken (voor emissie, concentratie en depositie van stikstofverbindingen)?
  - a. Welke waarden zijn betrouwbaar te meten?
  - b. Hoe vaak moet/kan worden gemeten?
  - c. Wat is de praktische toepasbaarheid?
2. Wat is de gemiddelde concentratie in het gebied?
3. Als er een piek in de concentratie optreedt:
  - a. Wat is de locatie waar deze piek waar te nemen is?
  - b. Wanneer vertoont deze piek zich?
  - c. Wat is de oorsprong van deze piek?
4. Welke inzichten kan de combinatie van emissie-, concentratie- en depositiemetingen opleveren?

Op basis van deze onderzoeksvragen zijn de meetpartners tot de volgende meetstrategie gekomen: (Zie Tabel 1 voor een overzicht)

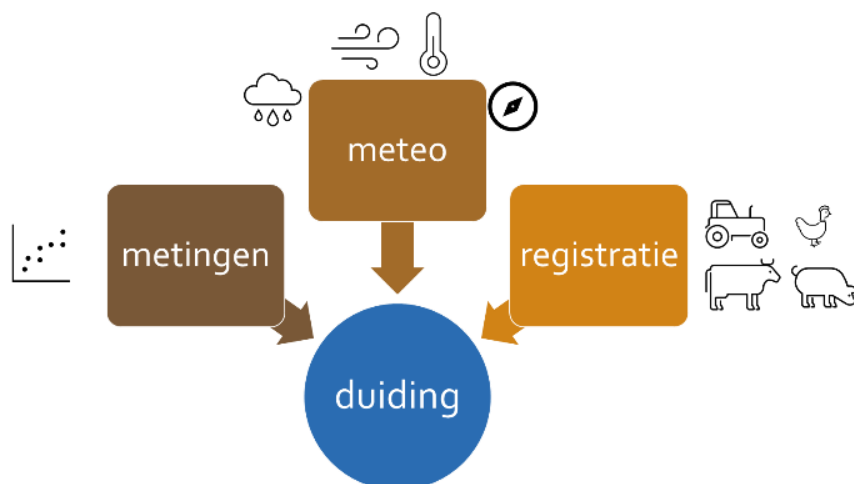
- Bulkdepositie (een combinatie van natte depositie en een deel van de droge depositie) wordt gemeten in het Natura 2000-gebied en de daar direct omheen liggende bosrand en vrije veld.
- Emissie wordt gemeten op een klein aantal bedrijfslocaties binnen 3 km van het Natura 2000-gebied.
- Concentratiemetingen zijn verdeeld in real-time metingen (sensoren) en maandgemiddelde concentratiemetingen (meetbuisjes).
  - De real-time metingen (voor het kunnen waarnemen van pieken) gebeuren in de zone om het Natura 2000-gebied heen, op een bedrijfslocatie en in een meetlijn in de dominante windrichting.
  - De gemiddelde concentratie wordt gemeten op de locaties van de bulkdepositiemetingen en op vrijwel elk van de locaties van de real-time metingen.

Tabel 1 De verschillende meetmethoden, inclusief de eenheid en soort meting (E = emissie, C = concentratie, D = depositie).

Stof [eenheid]	Meting	Methode	Aantal locaties	Meetfrequentie	Meetperiode	Meetpartner
NH <sub>3</sub> [kg]	E	Continue	1-3	Dag	Hele jaar	WUR
NH <sub>3</sub> [kg]	E	Puntmeting	1-3	24h	6x per jaar	WUR
N <sub>2</sub> O [kg]	E	Puntmeting	1-3	24h	6x per jaar	WUR
Stroomsterkte ∝ NH <sub>3</sub> [nA]	C	Sensor (elektrochemisch)	11	3 min	Hele jaar	OnePlanet Research Center
NH <sub>3</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	C	Meetbuisje + Lab analyse (extern)	11	1 maand	Hele jaar	RIVM
NH <sub>3</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	C	Meetbuisje + Lab analyse (intern)	22	1 maand	Hele jaar	UvA
Stroomsterkte ∝ NO <sub>2</sub> [nA]	C	Sensor (elektrochemisch)	11	3 min	Hele jaar	OnePlanet Research Center
NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	C	Meetbuisje	3	1 maand	Hele jaar	RIVM
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +NO <sub>2</sub> [µmol/l] NO <sub>2</sub> [µmol/l] NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [µmol/l] PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> [µmol/l] SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [µmol/l] DON [µmol/l]*	D	Bulkbemonstering Lab analyse (intern)	22	1 maand	Hele jaar	UvA

\* NH<sub>3</sub>: ammoniak, N<sub>2</sub>O: lachgas, NO<sub>2</sub> stikstofdioxide, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitraat, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: ammonium, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: fosfaat, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: sulfaat, DON: Dissolved Organic Nitrogen

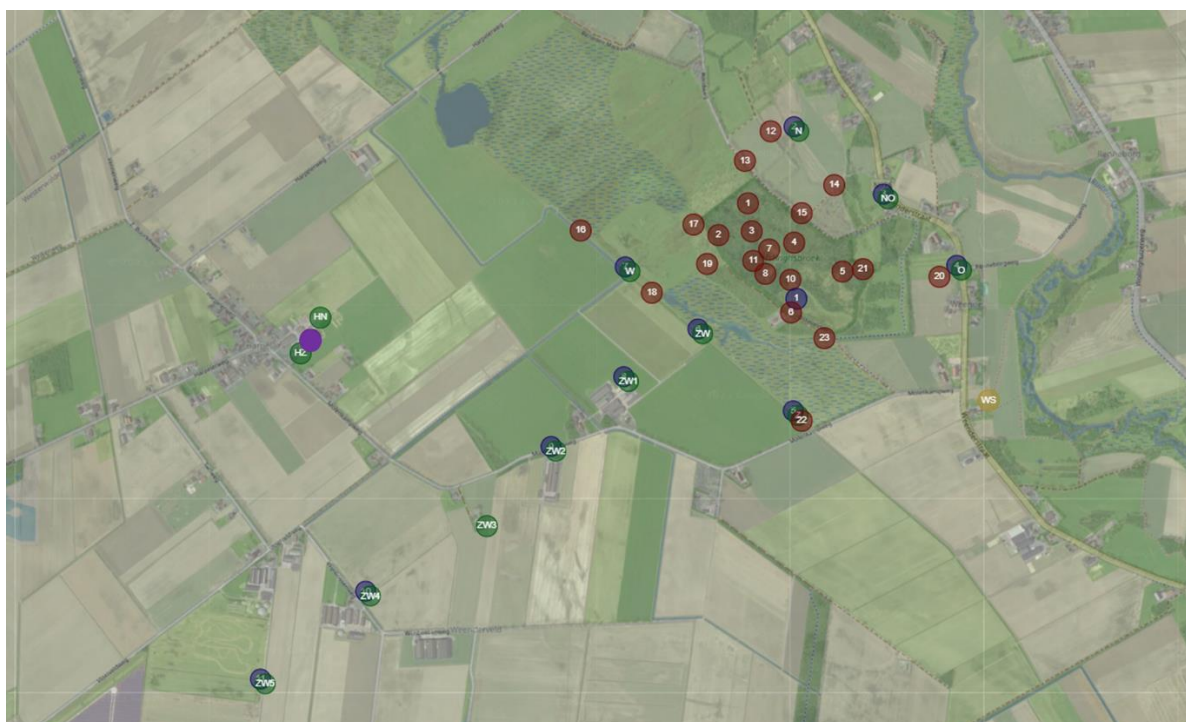
Op basis van eerdere ervaringen van de meetpartners moeten er naast metingen ook meteorologische gegevens worden verzameld en worden activiteiten in het gebied geregistreerd. Daarmee wordt het mogelijk onderzoek te doen naar de relatie tussen de meetdata en de mogelijke bron(nen) (zie Figuur 4). Om deze reden is ook een meteostation in het gebied geplaatst en is de ondernemers in het gebied gevraagd om hun activiteiten (voor zover die invloed kunnen hebben op de hoeveelheid stikstof) te registreren.



Figuur 4 Drie essentiële elementen om tot duiding te komen.

### 3.2 Meetlocaties

In Figuur 5 zijn de meetlocaties van de verschillende meetpartners weergegeven. De meetpunten van de UvA bevinden zich in het Natura 2000-gebied en de daar direct omheen liggende bufferzone. De punten van OnePlanet Research Center en het RIVM zijn geplaatst in een zone om het Natura 2000-gebied heen, en in een meetlijn in de dominante windrichting (zuidwest). De metingen van WUR vinden momenteel plaats in een stal ten westzuidwesten van Liefstingsbroek.



Figuur 5 Meetlocaties in en rond het Natura 2000-gebied Liefstingsbroek (groen: OnePlanet Research Center, roodbruin: UvA, paars: WUR/WLR, blauw: RIVM).

### 3.3 Meetmethoden

Deze paragraaf beschrijft de meetmethode(n) per meetpartner.

### 3.3.1 WUR

De emissiemetingen van ammoniak en lachgas uit stallen worden uitgevoerd door Wageningen Livestock Research (WLR), onderdeel van Wageningen University & Research (WUR). WUR gebruikt daarvoor twee methoden (afhankelijk van ventilatiesituatie; natuurlijk of mechanisch geventileerd) en past die gedurende het project toe op twee tot drie stallen rond Liefstingsbroek. Begonnen is in een melkveeststal op een bedrijf in Harpel. Dit is een natuurlijk geventileerde stal.

Voor het bepalen van de emissies uit natuurlijk geventileerde stallen wordt de tracergas ratiomethode toegepast (Ogink et al., 2013). Deze methode is de basis voor zowel de continue metingen als de puntmetingen. Als tracergas wordt koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) gebruikt die de dieren en de mest in de stal produceren. Als onderdeel van de korte kringloop vormt deze CO<sub>2</sub> zelf geen emissiecomponent, maar een secundaire parameter die gemeten wordt om de hoeveelheid lucht die door de stal gaat te kunnen bepalen. De tracergas ratiomethode vereist representatieve metingen van het tracergas (CO<sub>2</sub>) en het doelgas (NH<sub>3</sub> en N<sub>2</sub>O) van zowel de lucht die de stal verlaat als de lucht buiten de stal (die de stal inkomt) (zie Figuur 6).

Voor de metingen in de stal is in de lengte van de stal, onder de open nok, een monsternameleiding van polyethyleen (PE) opgehangen. Deze leiding bevat circa 8 monsternamepunten op maximaal 10 meter van elkaar. Elk punt is voorzien van een kritische opening en een filter tegen stof. Zo is een continue flow van 400-500 ml/min door alle punten mogelijk en ontstaat aan het eind van de monsternameleiding een representatief monster voor de stallucht.

De stallucht wordt met een pomp (LABOPORT® Membraan vacuümpomp model N840.1.2FT.18, KNF Verder BV) aangezogen en door een meetbuis geblazen. In de meetbuis is meetapparatuur geplaatst voor de meting van de NH<sub>3</sub> en CO<sub>2</sub> concentratie in de lucht. Op de monsterbuis zijn ook tappunten aangebracht voor de meting van de concentratie van methaan (CH<sub>4</sub>) en voor het bemonsteren van lucht tijdens de puntmetingen.

De concentraties van gassen in de stallucht moeten gecorrigeerd worden voor concentraties in de buitenlucht. De concentratie van CO<sub>2</sub> wordt continue gemeten met twee sensoren die aan elke kant van de stal (boven de dakgoot) zijn gemonteerd. Daar bevindt zich ook de monsterleiding die gebruikt wordt voor de puntmetingen waarmee de achtergrondconcentratie van ammoniak, methaan en lachgas wordt bepaald.

De volgende meetapparatuur wordt gebruikt voor de continue metingen:

- Ammoniak: Sensor met elektrochemische cel (Dräger Polytron® 8000, Dräger Safety AG & Co. KGaA);
- Koolstofdioxide: Nabij Infrarood (NIR) sensor (CARBOCAP® CO<sub>2</sub>-Probe GMP252, Vaisala GmbH).
- Methaan: EasyLine EL3020 monitor met daarin een NIR meetcel (Uras26) beide afkomstig van ABB B.V.).
- Temperatuur en luchtvochtigheid in de stal (HMP60; Vaisala GmbH, Duitsland)
- Datalogger (CR1000X; Campbell Scientific Inc.)

De puntmetingen van zowel de stallucht als de buitenlucht vinden met een interval van circa 6 weken plaats en duren 24 uur. De puntmetingen worden gebruikt voor veldkalibratie van de apparatuur die ingezet wordt bij de continue metingen (NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>). Alleen de al uitgevoerde laboratorium kalibratie volstaat hier niet, omdat de apparatuur in praktijk wordt blootgesteld aan een grote variatie in omstandigheden en mogelijke stoorcomponenten. Daarnaast worden de puntmetingen gebruikt voor de bepaling van de achtergrondconcentratie (NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub>) en voor de berekening van

de emissie van lachgas (N<sub>2</sub>O). N<sub>2</sub>O is een stikstofcomponent en een broeikasgas maar voor de metingen van concentraties zijn nu nog geen (relatief betaalbare) continue sensoren of monitoren beschikbaar.

De meetmethode en apparatuur die worden gebruikt voor de puntmetingen van ammoniak is de nat-chemische methode volgens Mosquera et al. (2019). Lucht wordt met een constante luchtstroom tussen 500 en 1000 ml/min met behulp van een pomp door een PE-leiding aangezogen. Alle lucht wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) geleid, waarbij de NH<sub>3</sub> wordt opgevangen. Eventuele doorslag wordt opgevangen in een tweede fles die in serie is geplaatst. Tenslotte wordt de lucht door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid. Na de bemonsteringstijd wordt de concentratie van gebonden NH<sub>3</sub> spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting wordt de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp.).

De ammoniakemissies ( $E_i$ ; in kg/jaar per dierplaats) worden per meetdag ( $i=1, 2, \dots, n$ ) bepaald op basis van de geschatte CO<sub>2</sub>-productie in de stal ( $PCO_{2i}$ ; in m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/uur) en de gemiddelde CO<sub>2</sub>-, NH<sub>3</sub>- of N<sub>2</sub>O-concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht ( $C_{stal_i}$ ; in mg/m<sup>3</sup>) en in de ingaande lucht ( $C_{buiten_i}$ ; in mg/m<sup>3</sup>) en het aantal dierplaatsen ( $n$ ) volgens:

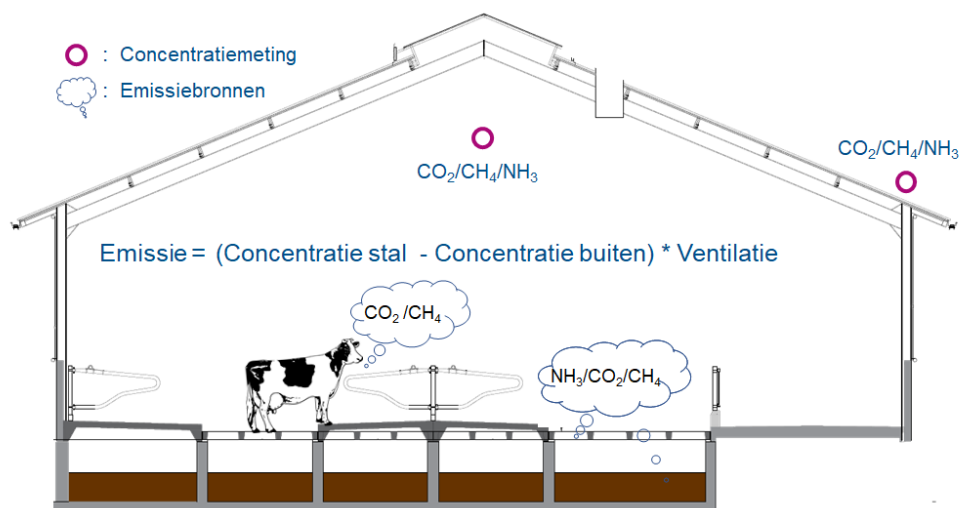
$$E_i = PCO_{2i} \cdot \frac{(C_{stal_i} - C_{buiten_i})}{(CO_{2stal_i} - CO_{2buiten_i})} \cdot \frac{24 \cdot 365}{10^6 \cdot n}$$

De CO<sub>2</sub>-productie in de stal ( $PCO_2$ ) wordt berekend volgens Pedersen and Sällvik (2002) en Pedersen et al. (2008). Daarvoor zijn de volgende bedrijfsgegevens nodig:

- Op dat moment aanwezige aantallen melkkoeien, droogstaande koeien, drachtig en niet-drachtig jongvee ( $n$ ),
- Het gewicht van de dieren (kg),
- De gemiddelde melkproductie (kg per dier per dag),
- Het gemiddelde aantal dagen in dracht,
- De energiewaarde van het voer (MJ per kg DS).
- Voor jongvee de gewichtstoename (in kg per dag)

Als de benodigde gegevens niet beschikbaar zijn worden standaardwaarden gebruikt.

Bij de emissiemetingen wordt zoveel mogelijk rekening gehouden met het hiervoor opgestelde meetprotocol (Ogink et al., 2017).



Figuur 6 Schematische weergave emissiebronnen en -metingen in een natuurlijk geventileerde stal door WUR/WLR.

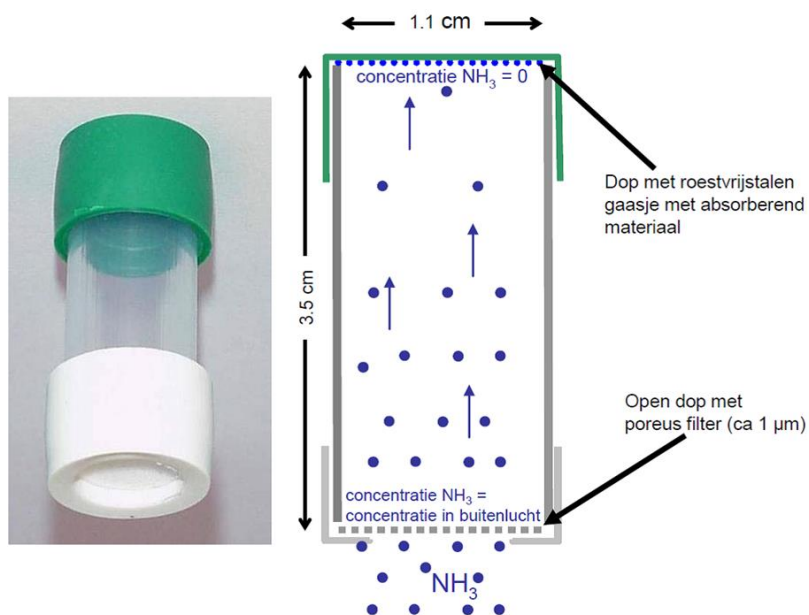
### 3.3.2 RIVM

Het RIVM heeft in en rond Liefstingsbroek een aantal meetbuisjes geplaatst, zoals die ook gebruikt worden in het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN). In het MAN meet het RIVM de ammoniakconcentratie in de lucht op meer dan 300 locaties in ruim 85 Natura 2000-gebieden.

Het MAN bestaat sinds 2005. Sinds 2019 wordt in een aantal gebieden ook stikstofdioxide gemeten. Binnen het MAN wordt samengewerkt met natuurorganisaties zoals Staatsbosbeheer en Natuurmonumenten. Natuurbeheerders en vrijwilligers kennen hun natuurgebieden goed, komen hier regelmatig en verwisselen elke maand de meetbuisjes.

De meetmethode via de meetbuisjes is voor ammoniak en stikstofdioxide in grote lijnen hetzelfde. Via de onderkant van de buisjes komt de lucht met ammoniak of stikstofdioxide in het buisje (passief). Boven in het meetbuisje bevindt zich een gecoat gaas dat alle ammoniak of stikstofdioxide in het buisje absorbeert (zie Figuur 7). In het laboratorium wordt de hoeveelheid opgenomen ammoniak of stikstofdioxide bepaald. Dit wordt omgerekend naar luchtconcentraties en vervolgens geijkt aan metingen uit het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). Alle buisjes hangen een maand in het veld en er worden daarmee dus maandgemiddelde luchtconcentraties bepaald.



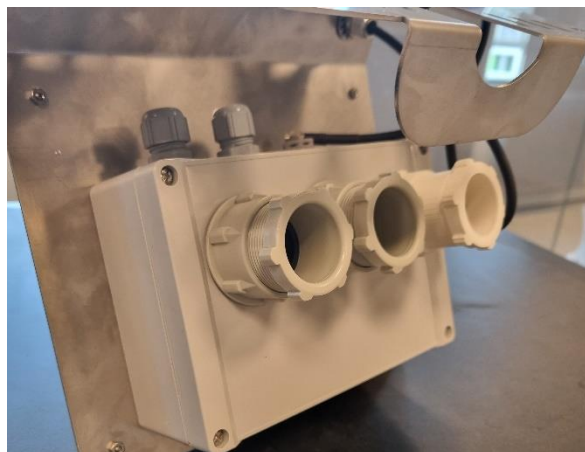


Figuur 7 Foto en principeschets meetbuisjes van RIVM.

### 3.3.3 OnePlanet Research Center

De concentratie van  $\text{NO}_2$  en  $\text{NH}_3$  in de lucht wordt elke 3 minuten gemeten met het NitroSense systeem van OnePlanet Research Center. Het NitroSense systeem zit in een behuizing van  $24 \times 24 \times 25$  cm en wordt aan een paal bevestigd op 2 tot 3 m hoogte (zie Figuur 8). Er zitten twee elektrochemische sensoren in om  $\text{NO}_2$  en  $\text{NH}_3$  te meten. In een elektrochemische sensor wordt een stroom opgewekt als de sensor in aanraking komt met het gas, in dit geval  $\text{NO}_2$  of  $\text{NH}_3$ : hoe hoger de concentratie van het gas, hoe sterker de elektrische stroom. Behalve het gas dat ze beogen te meten zijn de elektrochemische sensoren ook gevoelig voor temperatuur en luchtvochtigheid. Daarom zit er ook een temperatuur- en luchtvochtigheidssensor in het NitroSense systeem. Een zonnepaneel zorgt voor de energievoorziening. De verzamelde data wordt elk uur draadloos verstuurd naar OnePlanet Research Center.

Tijdens de pilot hebben de NitroSense systemen vaker verstoringen gehad dan van tevoren verwacht (zie paragraaf 6.6). Daarom is besloten om ieder half jaar een nieuwe set NitroSense systemen te installeren, waarbij iedere set een jaar lang meet. Op die manier is er steeds een half jaar overlap tussen twee sets NitroSense systemen. Elke installieronde wordt begonnen en beëindigd met een colocatie periode van ongeveer 1 maand. Tijdens een colocatie periode worden alle systemen van 1 set bij paal Z opgehangen (zie Figuur 5). De data van deze colocatie periodes wordt gebruikt om middels kalibratie verschillen tussen sensoren te minimaliseren. Hierbij worden per sensor coëfficiënten voor gas, temperatuur en luchtvochtigheid gevonden voor een lineair kalibratiemodel.



*Figuur 8 Vooraanzicht en onderaanzicht van de NitroSense van OnePlanet Research Center. Op het vooraanzicht zijn het zonnepaneel en de antenne zichtbaar. Op het onderaanzicht zijn de openingen van de drie sensoren zichtbaar, v.l.n.r.: NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, temperatuur/luchtvochtigheid.*

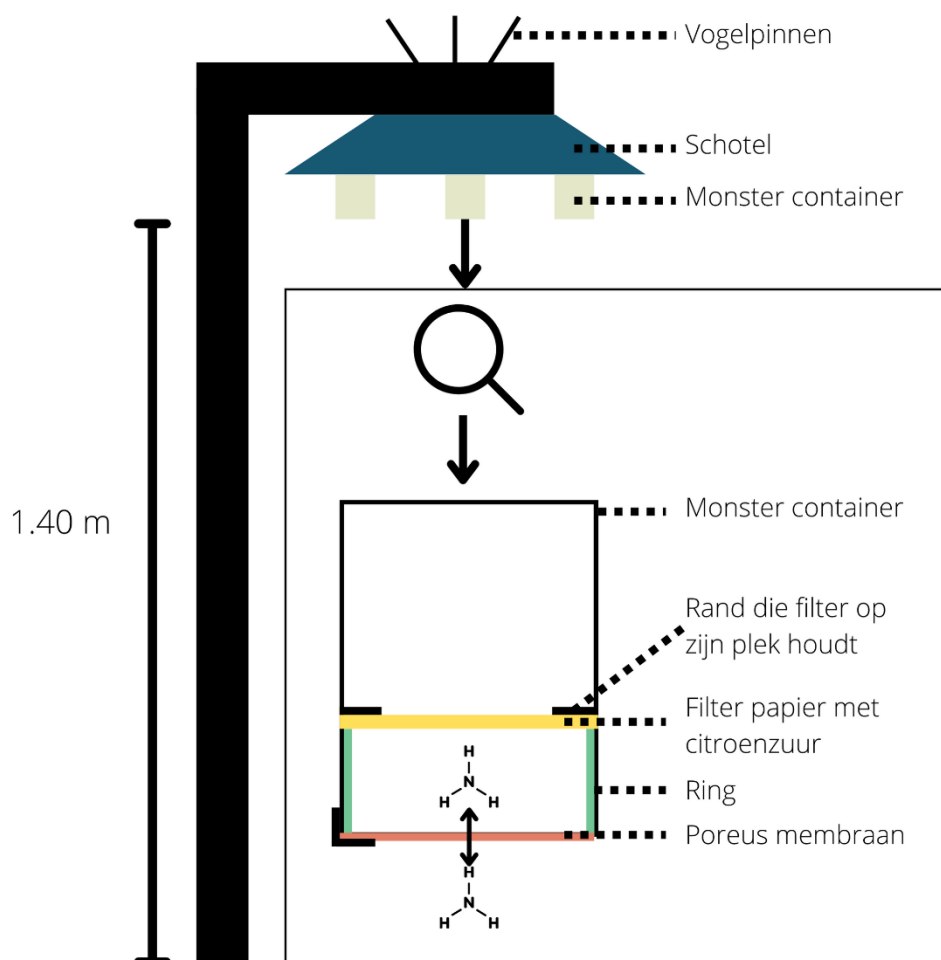
#### 3.3.4 UvA

Bulkdepositie van ammonium (de som van natte en een deel droge depositie) en atmosferische ammoniakconcentraties worden maandelijks gemeten door de UvA op alle puntlocaties in Figuur 10. Verder zullen deze parameters worden gerelateerd aan verschillende bio-indicatoren van stikstofdepositie. In eerste instantie gebeurt dit met een afbraakexperiment, waarbij op de meetlocaties de afbraaksnelheid van eikenblad en stikstof-vrije cellulose filters worden vergeleken. Later in het jaar worden op dezelfde locaties (korst)mossen verzameld om ze te gebruiken als bio-indicator.

De bulkdepositie valt neer op een trechter, gaat daarna door een gaasje (poriegrootte  $\varnothing$  1 mm), en wordt opgevangen in een fles. Omdat de opgevangen stikstofcomponenten beïnvloed kunnen worden door potentiële biologische activiteit, is elke fles verrijkt met een biocide (thymol), dat niet snel vervluchtigt en effectief is in lage concentraties. De installaties zijn voorzien van vogelpinnen om verstoringen te voorkomen (zie Figuur 10). Om de hoeveelheid neerslag te bepalen, wordt het gewicht van het water in het veld bepaald. De concentraties van NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, TN, SO<sub>4</sub> en PO<sub>4</sub> worden vervolgens gemeten in het laboratorium. De hoeveelheid organische stikstof (DON) wordt vervolgens bepaald door NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, en NO<sub>2</sub> af te trekken van TN. De ammonium flux wordt berekend door de concentraties te vermenigvuldigen met het gewicht van het bijbehorende monster, en dit te delen door het oppervlak van de trechter.

De gasvormige ammoniak wordt gemeten met een 'Alpha sampler' (Tang et al., 2017) zoals weergegeven in Figuur 9. Deze werkt op een vergelijk-bare manier als de passieve samplers van het RIVM. Deze Alpha samplers zijn bevestigd onder schotels om ze droog te houden. Aan de onderkant van de schotels hangen containers, welke aan de onderkant zijn afgesloten met een membraan; dit zorgt ervoor dat de lucht en de ammoniak de container in kunnen en dat de luchtlaag in de bemonsteraar stil staat. Aan de binnenkant van de container zit een filterpapiertje bedekt met citroenzuur. Ammoniak wordt ammonium als het reageert met citroenzuur, waardoor de (oorspronkelijke) ammoniak blijft plakken. Na extractie van het filter en na filtratie wordt de

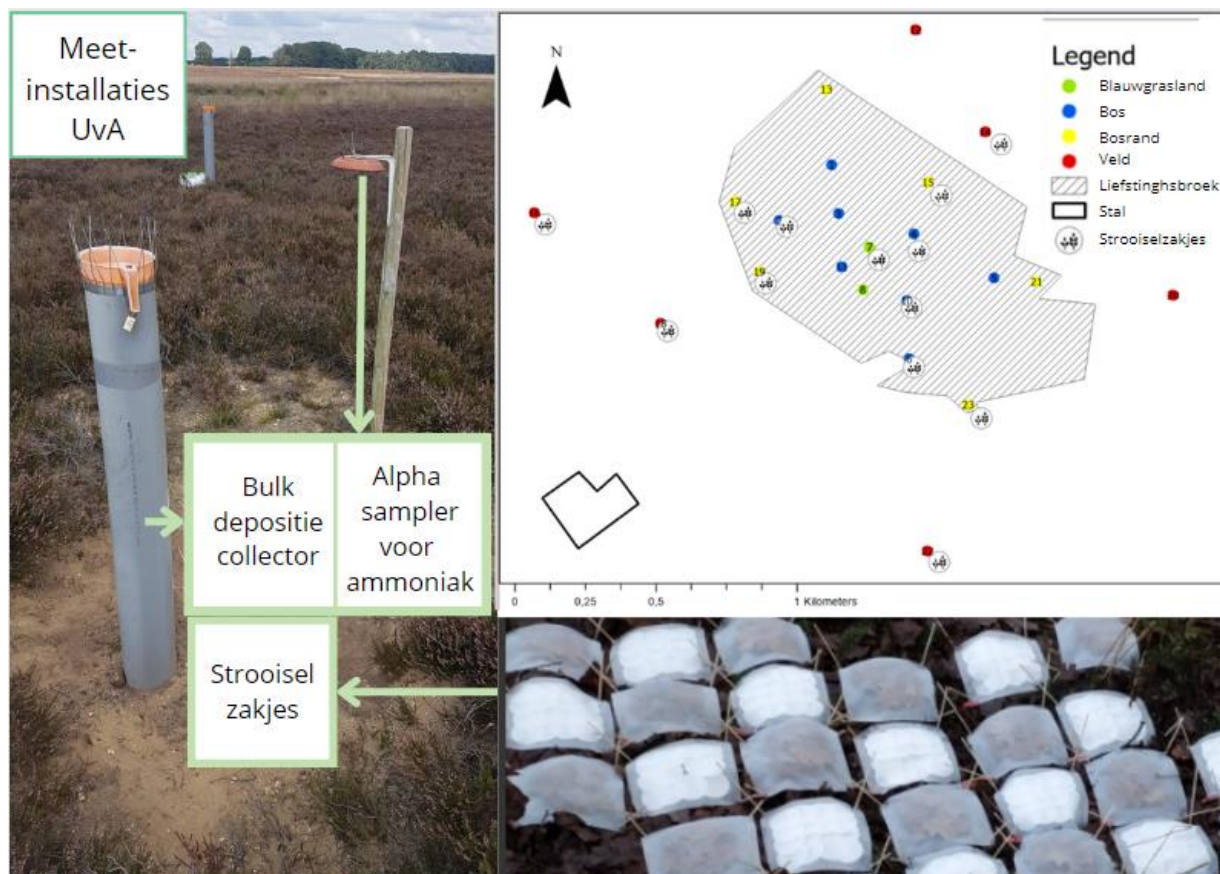
ammonium concentratie gemeten. De hoeveelheid ammonium wordt vervolgens via een diffusiesnelheid en een verblijftijd omgerekend naar een ammoniak concentratie in de lucht.



Figuur 9 De alpha-sampler waarmee de UvA de maandgemiddelden atmosferische ammoniak concentraties bepaalt.

De ruimtelijke patronen van bulkdepositie en ammoniakconcentratie worden vergeleken met de afbraaksnelheid van eikenblad en stikstof-vrije cellulose filters. Het eikenblad dient als het referentiemateriaal en de micro-organismen die de filters afbreken zullen reageren op een verhoging van de stikstofbeschikbaarheid (door de stikstof depositie) door de filters sneller af te breken, door een verhoging van de respiratiesnelheid ( $\text{CO}_2$  productie) en door meer stikstof op te nemen. Er zijn in totaal 780 zakjes geplaatst op 14 locaties in het bos (Figuur 10). Deze zullen gespreid over een periode van 9 maanden worden verzameld. Allereerst zal er worden gekeken naar de verandering in biomassa. Verder zal de activiteit van de microbiële gemeenschap in de monsters worden gemeten aan de hand van respiratie, met gaschromatografie. Het materiaal zal dan worden gemalen en geanalyseerd in een Elementar Vario EL cube EA-IRMS voor het percentage stikstof, en de isotopische verhouding (een maat van het aantal neutronen in de kern van het molecuul) hierin. In een latere fase van het onderzoek worden dergelijke metingen ook gedaan met (korst)mossen en periphyton (een mix van zoetwater micro-organismen die groeien en/of vastzitten op oppervlaktes in het water).

In Figuur 10 zijn de meetinstallaties van de UvA weergegeven.



Figuur 10 Meetopstellingen voor bulkdepositie en maandgemiddelde ammoniakconcentraties van UvA. Rechtsonder een foto van de opstelling om afbraaksnelheid te meten.

### 3.4 Registratie van activiteiten

Door Prolander is een online formulier ontwikkeld om activiteiten in het gebied te kunnen registreren. Te denken valt aan het bemesten van percelen met dierlijke mest of drijfmest, het oogsten van gewassen, het beweiden van vee of het aan- en afvoeren van dieren. Reden voor deze registratie is de verwachting dat daarmee duiding gegeven kan worden aan gemeten variatie in emissies, concentratie en/of depositie.

Om het zo gebruiksvriendelijk en eenduidig mogelijk te maken is het formulier reeds voorzien van relevante keuzemogelijkheden (zie Figuur 11). Een deelnemer hoeft alleen aan te klikken welke activiteit, op welke locatie plaatsvindt.

Het gaat dan om de volgende vragen en mogelijkheden in het formulier:

1. Op welk perceel of gebouw heeft een activiteit betrekking?
2. Gaat het om grasland, bouwland, stal of silo?
  - a. Op grasland is een keuze te maken uit weiden, aanwending van drijfmest, vaste mest, kunstmest
  - b. Op bouwland zijn de opties: aanwending van drijfmest, vaste mest, kunstmest, drijfmest korst voor suikerbieten
  - c. In de stal is een keuze te maken uit: mixen, uitmesten, groepswisseling, storting van mestschuif/schuim op mest/luchtwasser uit
  - d. Silo geeft de opties: mixen, legen/vullen
3. Op welke datum heeft de activiteit plaatsgevonden?

Deze informatie kan dan door de meetpartners worden geraadpleegd in een poging om opvallende meetresultaten te verklaren.

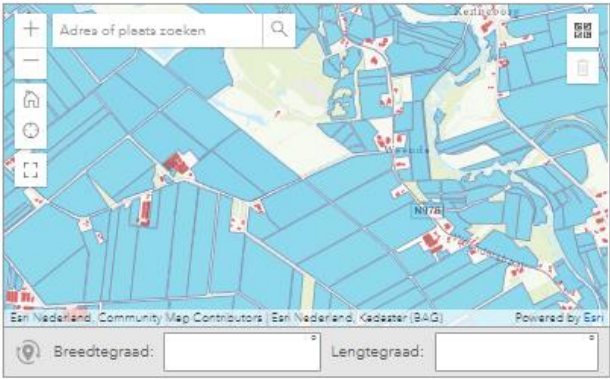


**Registratieformulier Activiteiten**

Welkom bij de Meetpilot Liefstingsbroek. Registreer met dit formulier uw landbouwkundige activiteiten.

Registreer 1 perceel of locatie per keer.  
Als u klaar bent met invoeren drukt u op verzenden onderaan het formulier.

Geef als eerste aan waar de activiteit plaatsvindt.  
Klik op de kaart én klik daarna een perceel of een andere locatie aan. Er verschijnt een blauwe pijl op de kaart.\*



Uw naam (optioneel)

Waar vindt de activiteit plaats?\*

Wat is de activiteit?\*

Wat is de datum bij deze activiteit?\*

Figuur 11 Registratieformulier bedrijfsactiviteiten van Prolander.

### 3.5 Meteostation

Het meteostation (type: Davis 6322 – wireless Vantage Pro 2) meet op één locatie vlakbij Liefstingsbroek met een frequentie van 1 minuut:

- Windrichting (graden),
- Windsnelheid (m/s),
- Neerslag intensiteit (mm/u),
- Neerslag (totaal) (mm)
- Temperatuur (°C),
- Relatieve luchtvochtigheid (%)

### 3.6 Datasysteem

#### 3.6.1 Environmental Sensing Data Space (ESDS)

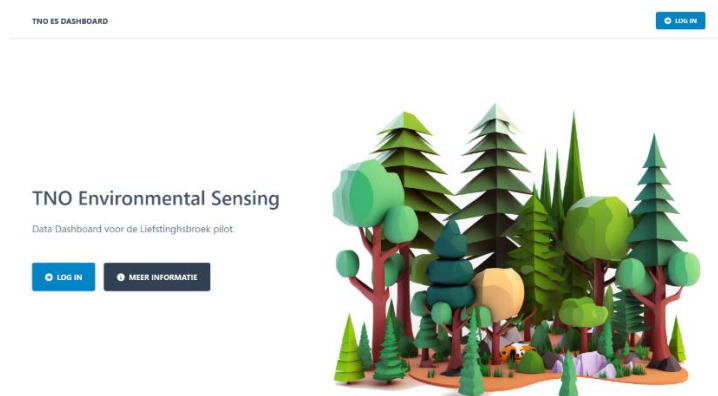
De sensor- en andere data worden door de partners gedeeld in het ESDS (Environmental Sensing Data Space). Elke partner zorgt ervoor dat data beschikbaar zijn voor de overige meetpartners via een server op basis van de standaarden van de OGC (Open Geospatial Consortium). Voor de sensordata gaat het om een OGC SensorThings server, voor de activiteiten gaat het om een OGC Feature server.

Een belangrijke reden voor het gebruik van deze standaarden is dat naast de betreffende sensordata ook metadata opgeslagen en gedeeld kan worden. Voorbeelden van metadata zijn locatie, installatie, sensortype en meeteenheid.

Voor de partners die niet de middelen hebben om zelf een server te beheren of nog bezig zijn een datadeelomgeving in te richten voor dit project, stelt TNO een dedicated OGC-server ter beschikking en helpt met het invoeren van de data uit traditionele bronnen zoals spreadsheets. TNO doet dit voor WUR, UvA en RIVM. OnePlanet Research Center en Prolander hebben hun eigen serveromgeving.

#### 3.6.2 Data dashboard

Data wordt inzichtelijk gemaakt in het door TNO ontwikkelde data dashboard (zie Figuur 12-Figuur 14).



Figuur 12 Welkomsscherm Environmental Sensing Data Space (ESDS) van TNO.

Het dashboard bestaat uit een deel dat in de browser van de gebruiker draait (“front-end”) dat zorgt voor de navigatie en de opbouw en het tekenen van alle grafieken en plattegronden. In de TNO-cloud draait de ‘back-end’ die zorgt voor de autorisaties en het ‘front-end’ voorziet van de juiste informatie.

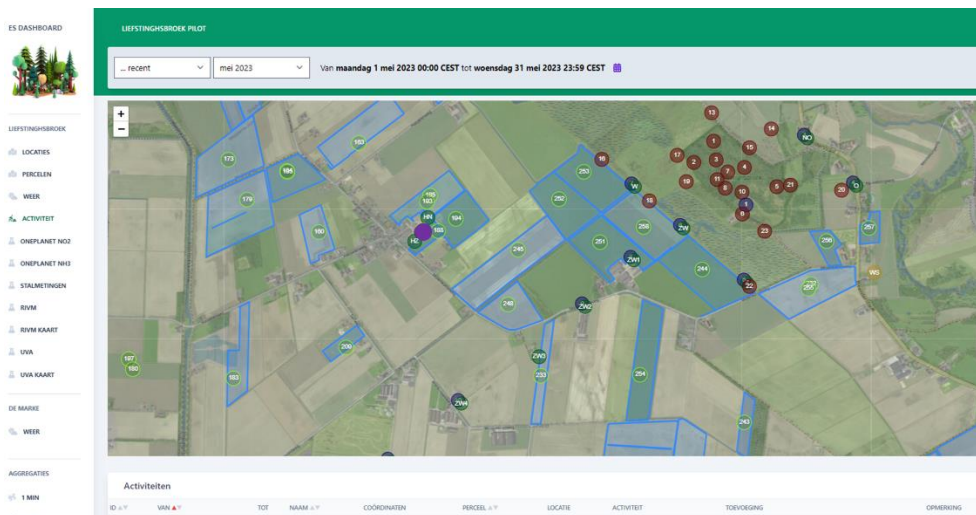
Deze verdeling, waarbij een belangrijk deel van de applicatie bij de gebruiker draait, zorgt voor snellere respons en meer mogelijkheden voor interactieve presentatie van data. Het “back-end” zorgt voor de communicatie met alle OGC-gebaseerde servers van de meetpartners en vertaalt de data naar een weergave die optimaal is voor verwerking in de browser.

Het dashboard is nog in ontwikkeling en bevat op dit moment de volgende informatie:

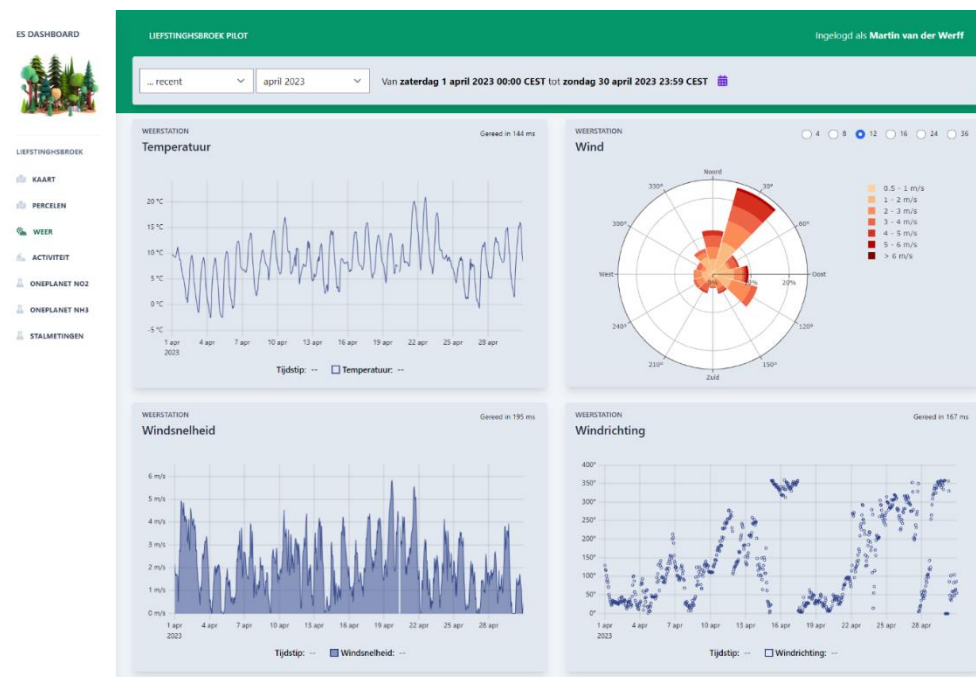
- Meetlocaties
- Kavels/ gewaspercelen



- Activiteiten
- Meteodata
- NO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> metingen van OnePlanet Research Center
- Stalmetingen van WUR/WLR
- NO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> concentratie van RIVM
- NH<sub>3</sub> concentratie, en bulkdepositie van Uva



Figuur 13 Weergave meetpunten en percelen in en rond Liefstingsbroek in het ES DS.



Figuur 14: Voorbeeld van de dataweergave in het ES DS.

## 4 Data-analyse

### 4.1 Analysemethode(n)

#### 4.1.1 WUR

De gebruikte sensoren voor concentratie van  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  en  $\text{CH}_4$  in de stal en  $\text{CO}_2$  in de buitenlucht hebben elk een eigen kalibratielijns geldig voor het meetbereik van het betreffende gas die vooraf bepaald is in laboratorium. Daarnaast wordt per sensor een aanvullende (veld)kalibratie toegepast die bestaat uit de relatie tussen concentraties gemeten in de 24 uren puntmetingen en het gemiddelde van de sensorwaarden in die periode. Na elke puntmeting wordt deze kalibratielijns opnieuw berekend en toegepast op de data. Deze concentraties worden verwerkt tot emissies van ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) per dag uitgedrukt in kg per dierplaats per jaar (zie paragraaf 3.3.1). Ook de concentraties van de puntmetingen worden gebruikt voor een zelfstandige emissieberekening. Analyse van de relaties tussen emissies en overige bedrijfs- of omgevingsfactoren of gegevens van de Kringloopwijzer (KLW) en de analyse van de relatie tussen concentraties en emissies en meetresultaten van andere projectpartners vindt in een later stadium plaats.

#### 4.1.2 UvA

De maandelijkse waarden van atmosferische ammoniak en bulkdepositie zullen worden gerelateerd aan de geografie (afstand en richting van de stallen), de meteorologische parameters (windrichting, windsnelheid, temperatuur en regen), en het type meetpunt (veld, bosrand, bos, blauwgrasland). Om voor de duiding rekening te houden met het ontwerp met herhaalde metingen, zal gebruik worden gemaakt van 'linear mixed effect models' (een statistisch model, omschreven door Oberg & Mahoney, 2007), met de meetlocatie als random effect. De kaarten van concentraties en depositie van ammoniak (/ammonium) zijn gemaakt met 'Empirical Bayesian Kriging'. Deze interpolatiemethode is gekozen na vergelijking met verschillende interpolatietechnieken, namelijk: Simple-, Ordinary- en Universal Kriging, Kernal (local polynomial) en Inverse Distance Weighting. Het criterium was een vergelijking van voorspelde en gemeten waarden op de meetlocaties.

#### 4.1.3 OnePlanet Research Center

##### *Kalibratie naar groepsgemiddelde*

De ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) en stikstofdioxide ( $\text{NO}_2$ ) sensoren variëren stuk voor stuk in hun gevoeligheid voor het te meten gas, maar ook voor (veranderingen in) temperatuur en luchtvochtigheid. Om de sensoren met elkaar te kunnen vergelijken worden alle sensoren ongeveer een maand bij elkaar geplaatst: colocatie. Tijdens de colocatie staan de sensoren voldoende dichtbij elkaar zodat kan worden aangenomen dat ze aan dezelfde concentraties gas worden blootgesteld en dezelfde wisselingen in luchtvochtigheid en temperatuur ondergaan. De data van deze colocatieperiode wordt gebruikt om de output van de gassensoren te kalibreren naar het groepsgemiddelde, middels lineaire regressie. Zo krijgt elke sensor zijn eigen kalibratiemodel. Na de colocatieperiode worden de sensoren op de verschillende meetlocaties geplaatst.

Het is bekend dat de respons van de sensoren kan veranderen over tijd (drift) en de gevoeligheid afneemt (o.a. afhankelijk van de concentratie waaraan de sensor is blootgesteld). Deze veranderingen betekent dat de kalibratiemodellen over tijd minder accuraat worden. Daarom worden de sensoren na een jaar meten weer gecoördineerd. Dan kunnen de kalibratiemodellen opnieuw worden berekend, waarbij de verandering in gevoeligheid ook kan worden bepaald.

## 4.2 Combinaties van data

### 4.2.1 OnePlanet Research Center-RIVM

#### *Kalibratie ammoniak sensoren OnePlanet Research Center naar maandgemiddelde van meetbuisjes RIVM*

Eerst worden per sensor de kalibratiecoëfficiënten die tijdens de colocatie voor gas, temperatuur en luchtvochtigheid zijn gevonden toegepast. Om de ruwe output van de OnePlanet Research Center sensoren om te zetten naar een concentratie worden de sensoren geijkt aan de maandgemiddelde concentratie van de RIVM meetbuisjes. Dit kan alleen gedaan worden op de 10 locaties waar zowel het RIVM als OnePlanet Research Center meten.

### 4.2.2 UvA-RIVM

#### *Vergelijking NH<sub>3</sub> concentratie metingen (RIVM-UvA)*

Op een aantal locaties zijn de meetpunten van RIVM en UvA vlakbij elkaar. Op deze locaties kunnen de metingen onderling worden vergeleken, om inzicht te krijgen in eventuele verschillen tussen de gebruikte meetbuisjes. Een precies vergelijk van beide meetmethodes wordt bemoeilijkt omdat de RIVM meetbuisjes door vrijwilligers, en zoveel mogelijk op dezelfde dag worden verwisseld (streven is de 28<sup>ste</sup> van de maand). De UvA busjes worden door de UvA onderzoekers rond de overgang van de maand verwisseld. Een afwijking van de 1 op 1 lijn (de lijn waarbij de waardes van metingen van RIVM en UvA exact dezelfde waardes hebben) kan daardoor ook veroorzaakt worden doordat de dagen niet precies overeenkomen.

## 5 Voorlopige resultaten

### 5.1 Emissies veehouderijen

#### 5.1.1 Omliggende veehouderijen en kringloopwijzer

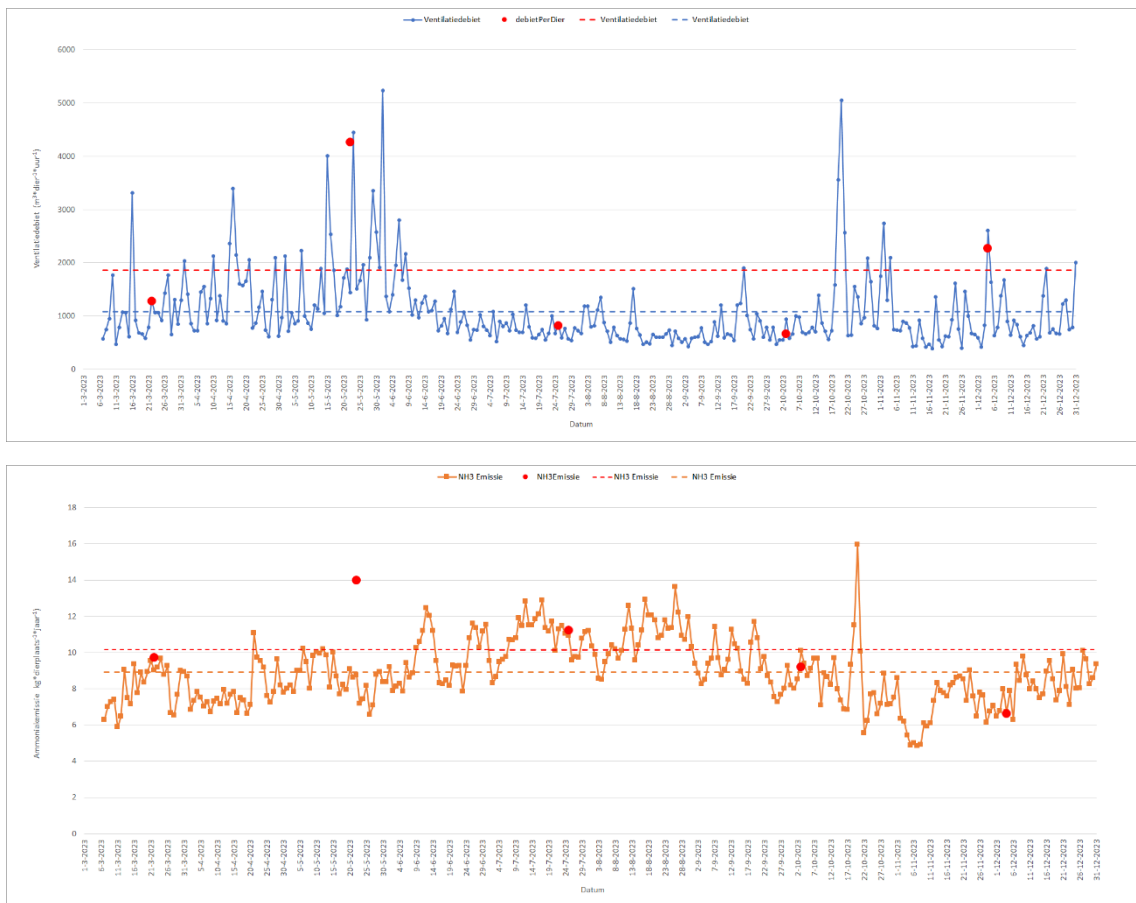
Er liggen verschillende melkveebedrijven in het projectgebied rond het Liefstingsbroek. Op dit moment wordt op de locatie in Harpel gemeten. Besluit over uitbreiding van de emissiemetingen naar andere (melkvee)bedrijven is nog niet genomen. De verwerking en analyse van gegevens van de kringloopwijzer (KLW) van de huidige meetlocatie en overige melkveelocatie(s) wordt later gedaan.

#### 5.1.2 Stalmeting locatie 1 (WUR)

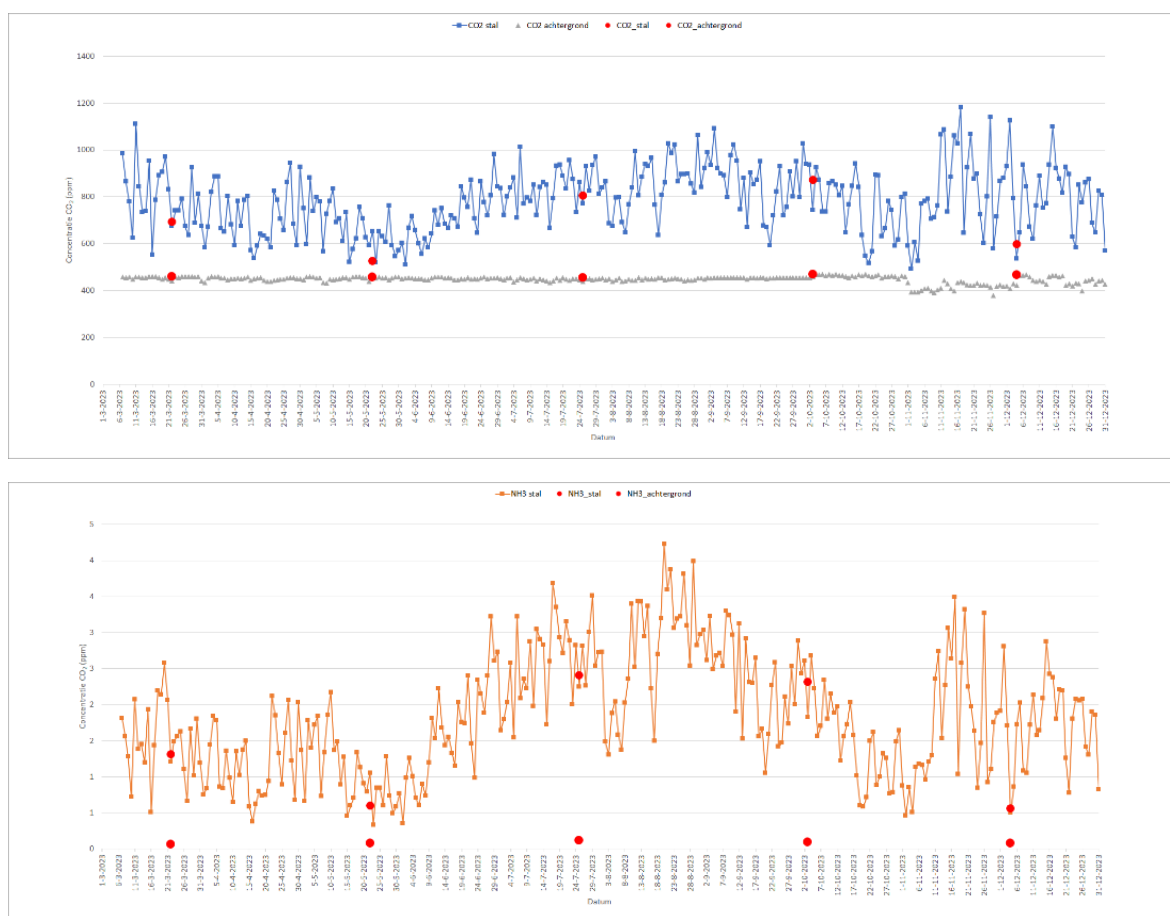
De emissiemetingen in deze rapportage hebben betrekking op één locatie. De metingen zijn volgens plan verlopen. De stalmetingen zijn op 7 maart 2023 gestart. De resultaten die hier gepresenteerd worden, zijn van de periode tot en met 31 december 2023. Het zijn voorlopige resultaten op basis van de continue emissiemetingen. In deze periode zijn daarnaast vijf puntmetingen uitgevoerd. Resultaten van deze metingen zijn gebruikt voor controle en veldkalibratie van de sensoren die gebruikt worden voor de continue emissiemetingen en voor bepaling van de ammoniakconcentratie in de buitenlucht.

De gemiddelde emissie van ammoniak op basis van de continue metingen in deze periode was 8,9 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar met een standaarddeviatie van 1,7 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar. De gemiddelde ammoniakemissie op basis van de puntmetingen in deze periode was 10,2 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar met een standaarddeviatie van 2,7 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar. Wanneer de tweede puntmeting als uitbijter (een waarneming die niet bij de overige lijkt te passen) wordt beschouwd is dat respectievelijk 9,2 en 1,9. Concentratie van kooldioxide en ammoniak in de stal en de buitenlucht is weergegeven in Figuur 16. Ondanks de overeenkomst tussen puntmetingen en sensormetingen bij de concentratie van CO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> in de stal wijkt de berekende emissie van beide methoden sterk af. Die afwijking is veel groter dan bij de overige puntmetingen. Reden voor de afwijkende emissie op de tweede puntmeting is waarschijnlijk de *veranderende* omstandigheden gedurende de puntmeting. Het verloop van de emissie van ammoniak en het ventilatiedebiet (het volume aan lucht dat verplaatst wordt binnen een bepaalde tijdseenheid) in deze periode is weergegeven in Figuur 15. Het verloop van de ammoniakemissie laat in de eerste helft van 2023 een langzaam stijgende trend zien die waarschijnlijk veroorzaakt wordt door toenemende buitentemperatuur. Daarna daalt de ammoniakemissie weer naar een niveau dat vergelijkbaar is met de eerste maanden van het jaar. De variatie in emissies houdt verband met het ventilatiedebiet. Dit wordt vooral bepaald door windsnelheid en -richting. Een verdere analyse van het verband vindt in een later stadium plaats.

Verloop en niveau van de emissie van ammoniak zijn passend voor wat bij deze locatie verwacht kan worden.



Figuur 15 Verloop van ammoniakemissie per dag in  $kg\ NH_3$  per dierplaats per jaar (onder) en het ventilatiedebiet in  $m^3$  per dier per uur (boven). De stippellijnen geven de gemiddelde waarde weer op basis van de puntmetingen (rood) of de continue metingen.



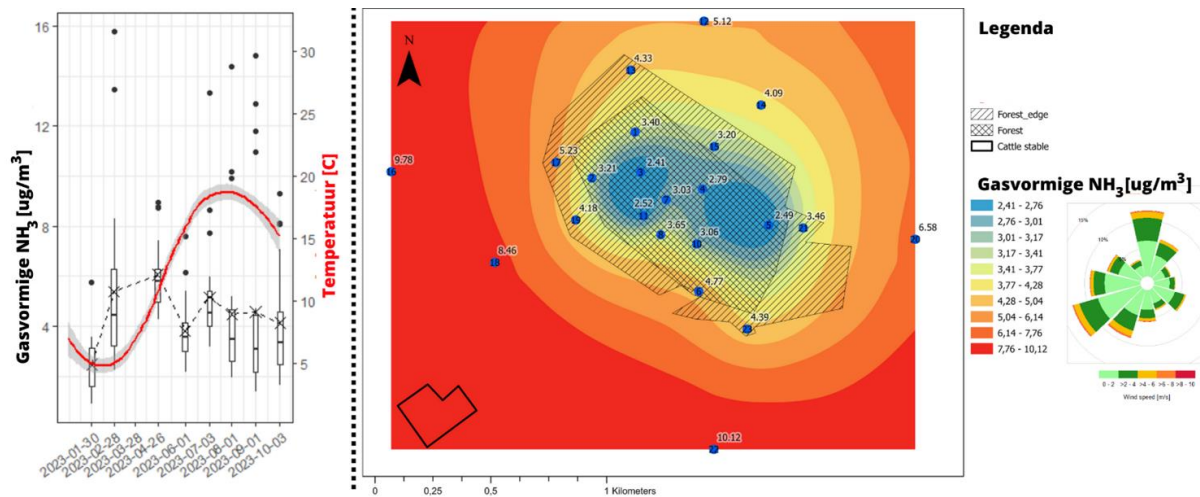
Figuur 16 Verloop van concentratie van NH<sub>3</sub> (onder) en CO<sub>2</sub> (boven) in de stal en de buitenlucht (ppm) voor zowel de continue als de puntmetingen.

## 5.2 Concentraties buitenlucht

### 5.2.1 Maandgemiddelde concentraties NH<sub>3</sub> (UvA)

De ammoniakconcentraties in het natuurgebied zijn door de UvA bepaald aan de hand van meetbuisjes (zie 3.3.4). De gemiddelde ammoniakconcentraties van de periode tussen 21 december 2022 en 3 oktober 2023 zijn weergegeven in Figuur 17. Concentraties van atmosferische ammoniak zijn voorlopige getallen, en worden nog gekalibreerd met een miniDOAS opstelling. Daarnaast gelden de met Empirical Bayesian Kriging geïnterpoleerde waarden alleen binnen de buitenste meetpunten. Als gevolg hiervan kan er bijvoorbeeld niets gezegd worden over de ammoniakconcentratie rond de boerderij in de zuidwestelijke hoek (niet het bedrijf waar momenteel gemeten wordt).



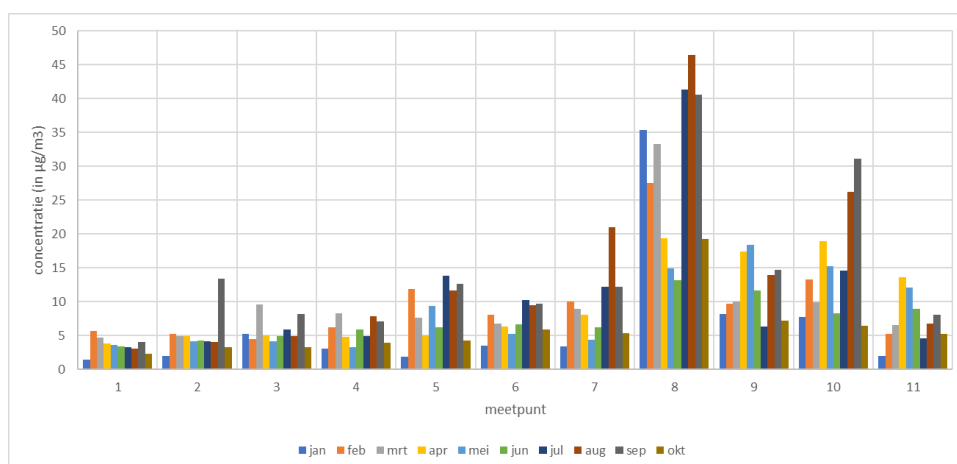


Figuur 17 Gasvormige  $\text{NH}_3$  en temperatuur over tijd (links) en  $\text{NH}_3$  over ruimte (rechts). Helemaal rechts staat een windroos, die aangeeft waar de wind vandaan kwam. De concentraties over de kaart zijn geïnterpoleerd met 'Empirical Bayesian Kriging' en gelden alleen binnen de buitenste meetpunten. De gemiddelde meetwaarden zijn tekstueel weergegeven bij de meetpunten.

### 5.2.2 Maandgemiddelde concentraties NO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> (RIVM)

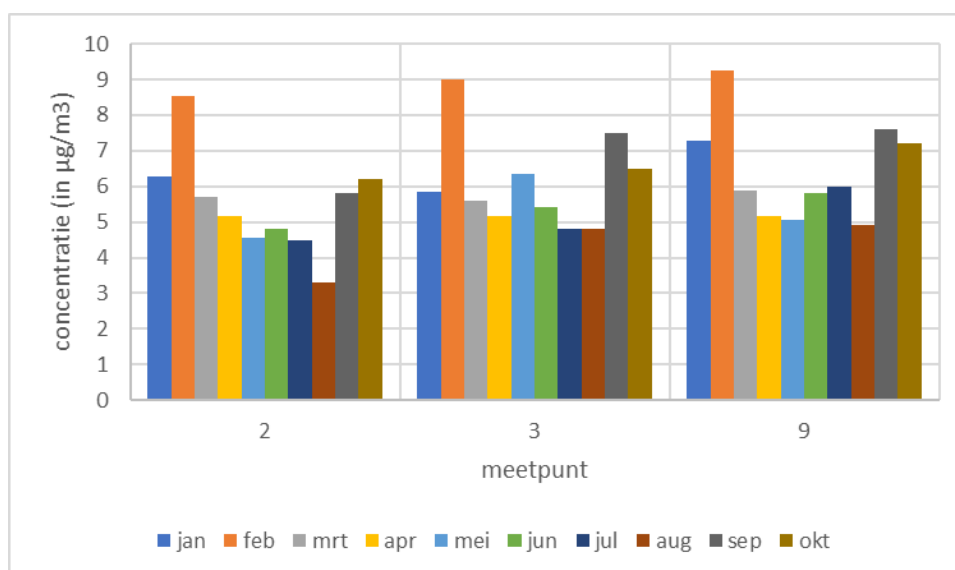
De metingen van het RIVM bestaan uit NH<sub>3</sub> en NO<sub>2</sub> concentratiemetingen met behulp van meetbuisjes (zie 3.3.2). De (nog niet gekalibreerde) meetresultaten zijn beschikbaar voor de periode januari tot en met oktober van 2023.

In Figuur 18 zijn de ammoniakconcentratie voor de 11 meetpunten weergegeven voor de periode januari-oktober 2023. In januari zijn de concentraties voor de meeste locaties duidelijk lager dan in de daaropvolgende maanden, met niveaus die ten noorden van het gebied gemiddeld lager zijn dan die ten zuiden van het gebied. De gemeten concentraties voor meetpunt 8 (Meetlijn ZW1) liggen circa driemaal hoger dan die van de meeste andere meetpunten. De plotselinge daling van de concentratie in de periode april tot en met juni voor meetpunt 8 wordt veroorzaakt door verandering van de overheersende windrichting. Terwijl er daardoor sprake is van een lagere concentratie voor meetpunt 8, uit zich dit deels als een stijging van de concentratie in die maanden voor de meetpunten 9, 10 en 11.



Figuur 18 Ammoniakconcentratie voor de periode januari-oktober 2023 voor de 11 meetlocaties.

In vergelijking met de ammoniakconcentraties, vertonen de stikstofdioxideconcentraties een gelijkmatiger patroon met een gemiddelde variërend van 5,5 tot 6,5 µg/m<sup>3</sup> voor respectievelijk meetpunt 2 en 9 (Figuur 19).



Figuur 19 Stikstofdioxideconcentratie voor de periode januari-oktober 2023 voor de 3 meetlocaties.

### 5.2.3 Sensormetingen concentraties NO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> (OnePlanet Research Center)

#### 5.2.3.1 Tijdsreeks kalibratie

Om de output van de sensoren zoveel mogelijk op elkaar te laten lijken worden ze ‘gekalibreerd’ naar het groepsgemiddelde tijdens de colocatie periode. In de eerste rapportage werd duidelijk dat zo de variatie tussen NH<sub>3</sub> sensoren (de gemiddelde standaarddeviatie over alle metingen) met een factor 3,25 kleiner gemaakt kan worden. Het signaal van de sensor verloopt echter ook over tijd, wat betekent dat de kalibratiecoëfficiënten moeten worden bijgewerkt. De eerste batch sensoren is inmiddels twee keer gecoloceerd, een keer voordat ze werden gebruikt (in het najaar van 2022) en een keer nadat ze zijn gebruikt (in het najaar van 2023). Om het effect van de kalibratie goed weer te geven staat in Figuur 20 de data van de laatste colocatie periode op drie verschillende manieren afgebeeld: zonder kalibratie, met kalibratie op basis van alleen de eerste colocatie, en met kalibratie op basis van beide colocatieperiodes (door een extra variabele toe te voegen aan het kalibratie model waarmee wordt aangegeven uit welke colocatie periode een datapunt komt). Voor de tweede colocatieperiode geldt dat de variatie tussen sensoren een factor 2,2 afneemt door het kalibratiemodel te gebruiken op basis van enkel de eerste colocatieperiode. Wanneer beide colocatieperiodes worden meegenomen kan de variatie tussen de sensoren 4,1 keer kleiner worden gemaakt (t.o.v. variatie in de ruwe data).



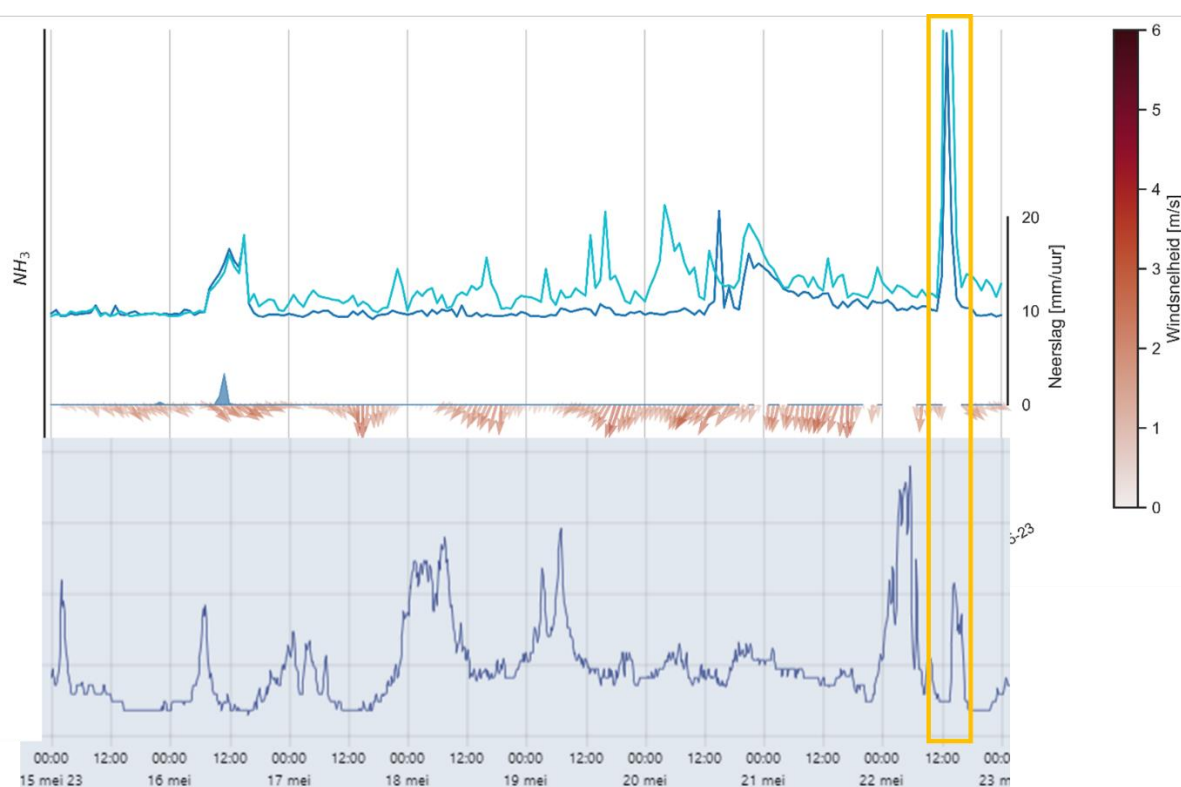
Figuur 20 Ruwe NH<sub>3</sub> data tijdens de tweede colocatieperiode, waarin alle sensoren op dezelfde plek hingen, na een jaar lang te hebben gemeten. Het bovenste paneel laat de ruwe data zien. Het middelste paneel laat dezelfde data zien waarbij alleen is gekalibreerd op basis van de eerste colocatieperiode. Het onderste paneel laat dezelfde data zien waarbij zowel de eerste als de tweede colocatieperiode is gebruikt voor de kalibratie.

### 5.2.3.2 Pieken: relatie met activiteiten

De winddata gemeten door het weerstation van TNO kan worden gebruikt om te bepalen uit welke richting een verhoogde concentratie  $\text{NO}_2/\text{NH}_3$  kwam. Omdat de sensoren op verschillende locaties staan kan een link gelegd worden met activiteiten in de omgeving. Op basis van geregistreerde activiteiten kan bepaald worden wat een aannemelijke bron is voor een verhoogde concentratie.

Twee voorbeelden.

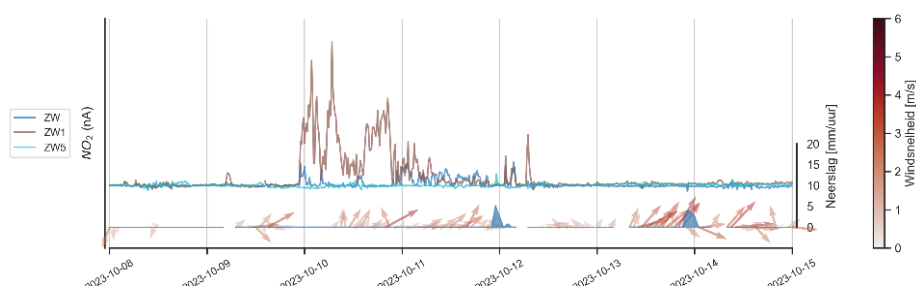
Ten eerste werd er op 22 mei mest uitgereden op het perceel direct ten westen van de stal waar de WUR emissies meet, en waar sinds 17 mei ook twee NitroSense systemen hangen. Tijdens het mest uitrijden werden  $\text{NH}_3$  pieken geregistreerd door de twee NitroSense systemen, die beide direct naast het bemeste perceel staan. Opvallend is dat ook de gemeten  $\text{NH}_3$  concentratie in de stal op bijna hetzelfde moment omhoog lijkt te gaan (Figuur 21). Hiervoor zijn twee verklaringen denkbaar. Mogelijk is de verhoogde concentratie in de stal veroorzaakt door de  $\text{NH}_3$  die het gevolg is van het mest uitrijden. Deze zorgde dan in de stal voor een verhoogde concentratie, maar was buiten al meer verspreid. Anderzijds valt op dat de pieken in de stalconcentraties tijdens de periode weergegeven in Figuur 21 optreden bij redelijk windstille situaties, en ook tijdens het mest uitrijden was het redelijk windstil. Het kan dus ook zo zijn dat het gebrek aan wind de stijging van de concentratie in de stal verklaart. Dit illustreert hoe metingen op meerdere manieren geïnterpreteerd kunnen worden, in de volgende periode hopen we vaker een dergelijke gebeurtenis waar te nemen, zodat we uitsluitsel kunnen geven welke verklaring de meest waarschijnlijke is.



Figuur 21 Voorbeeld van relatie tussen binnen en buiten de stal. (bovenste figuur geeft de metingen van twee ammoniak sensoren buiten de stal weer, onderin wordt de ammoniakconcentratie in de stal weergegeven. Windsnelheid en richting wordt met de pijlen (richting en lengte) aangeduid. Het oranje kader laat het moment zien waarop de mest werd uitgereden.

Ten tweede werd er een serie pieken in  $\text{NO}_2$  gemeten in ZW1 op het moment dat in een naast gelegen sleufsilos mais werd ingekuuld (Figuur 22). De eerste pieken zijn zeer waarschijnlijk van de machines die daarbij werden gebruikt. Enige tijd later zijn er ook nog pieken te zien. Volgens de boer

kwam er op een moment zichtbaar gas vrij vanuit de sleufsilo. Dit gas bestaat (o.a.) uit NO<sub>2</sub>. De geregistreerde piek was dusdanig hoog dat hij ook te zien was op de volgende benedenwindse sensor (ZW). De piek was niet te zien in een bovenwindse sensor ZW5.



Figuur 22 NO<sub>2</sub> metingen op drie locaties. ZW1 is direct benedenwinds van een activiteit die op 10 oktober leidde tot verhoogde NO<sub>2</sub> concentraties. ZW is verder benedenwinds. ZW5 is bovenwinds van de locatie waar de activiteit plaats vond. De pijlen geven windrichting en -snelheid aan. De blauw opgevulde lijn is de hoeveelheid neerslag. Voor de NO<sub>2</sub> waarden is het gemiddelde over alle locaties (van de NitroSense systemen uit de tweede set) afgetrokken van de metingen per locatie, en daarna nog per locatie het gemiddelde van de periode van 1 tot 9 oktober

## 5.3 Depositie

### 5.3.1 Bulkdepositie (UvA)

De bulk ammonium (NH<sub>4</sub>) depositie in en rondom het natuurgebied is door de UvA bepaald aan de hand van bulksamplers (zie 3.3.4). Een belangrijke kanttekening hier is dat bulkdepositie bestaat uit natte depositie en een deel van de droge depositie. Interacties met flora, micro-organismen en bodems zijn hier niet in meegenomen. De gerapporteerde waarden zullen dus lager uitvallen dan de daadwerkelijke depositie. Om anderzijds overschattingen te voorkomen, zullen deze getallen vóór rapportage nog worden getoetst op eventuele verontreinigingen (denk aan vogelpoep en stofmeel), die er voor zorgen dat de waarden niet representatief zijn voor een groter oppervlak (de waarden uit de bulksamplers worden immers omgerekend naar een hoeveelheid per hectare). Hier zal worden gekeken naar de curve tussen de hoeveelheid neerslag en de concentratie ammonium. Bij meetpunten die buiten het 95% interval van deze curve vallen zal worden gekeken naar de concentraties NO<sub>2</sub> (indicatief voor pollen), SO<sub>4</sub> en PO<sub>4</sub> (als indicator voor vogelpoep). Waarden die verwijderd worden, zullen worden opgevuld a.d.h.v. een temporele interpolatie die rekening houdt met de locatie- categorie (bos, bosrand, blauwgrasland). Hier zal een lijn zal worden getrokken tussen de naastliggende meetmomenten van de locatie- categorie in kwestie.

## 6 Duiding en discussie

### 6.1 Registratie activiteiten

Er zijn ruim 250 registraties gedaan sinds de mogelijkheid is gelanceerd. Het is de verwachting dat dit niet alle activiteiten in het gebied dekt, maar dit geeft een goed beeld. In een redelijk aantal gevallen viel door de registratie een link te leggen tussen de activiteiten in het gebied en een meetresultaat.

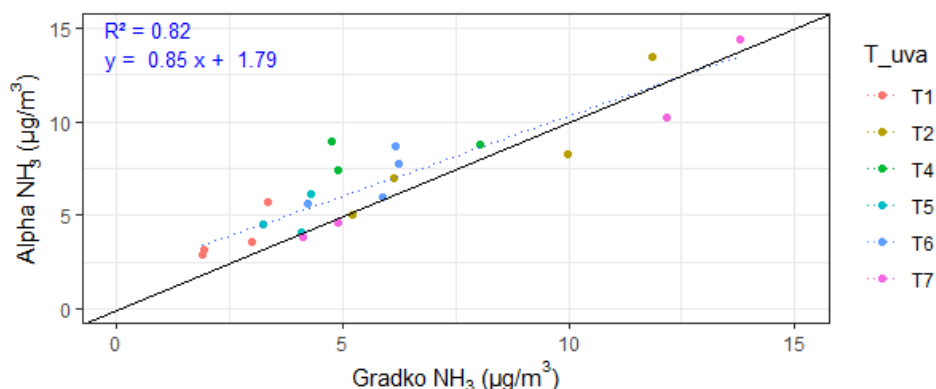
### 6.2 Meteorologie

De meest opvallende punten in de weerdata van 2023 zijn:

- Drie maanden op rij voornamelijk wind uit noordelijke richting (maart, april, mei), waardoor de meetlijn in zuidwestelijke richting minder effectief was
- Een zeer droge junimaand (slechts 1 dag met regen)
- Een aantal zeer natte maanden (juli, augustus, oktober, november)

### 6.3 Vergelijking NH<sub>3</sub> concentratie metingen (RIVM-UvA)

Atmosferische ammoniakconcentraties worden door de UvA en het RIVM (MAN) bepaald met vergelijkbare methoden, waarbij het ontwerp van de meetbuisjes wel verschillend is. De Alpha samplers (UvA) zijn gevoeliger bij lage ammoniakconcentraties, terwijl ze wel eerder verzadigd zijn vergeleken met de Gradko samplers (RIVM). In Figuur 23 worden de meest nabijgelegen samplers van de verschillende meetbuisjes vergeleken per meetmoment. De afwijking tussen Alpha en Gradko meetwaarden en de 1 op 1 lijn wordt groter bij lage concentraties ( $< 6,5 \mu\text{g m}^{-3}$ ). Dit kan potentieel verklaard worden door het verschil in gevoeligheid bij lage concentraties, echter is dit vooral bij nog lagere concentraties ( $1-2 \mu\text{g m}^{-3}$ ). De echte vergelijking kan echter pas gemaakt worden wanneer de Gradko en Alpha samplers gekalibreerd worden in een opstelling met een miniDOAS.



Figuur 23 Ammoniakconcentraties, gemeten door de UvA (Alpha) en het RIVM (Gradko). De kleurtjes zijn de verschillende meetmomenten. De doorlopende lijn is de 1 op 1 referentie, en de gestippelde blauwe lijn is een lineaire regressielijn. De vergelijking van de regressielijn,  $y = 0.85x + 1.79$ , geeft de relatie weer tussen de Gradko (x) en de Alpha (y) meetwaarden ( $R^2$ -waarde van 0.82).

### 6.4 Buisjes en sensoren voor NH<sub>3</sub> concentratie metingen (RIVM-OnePlanet Research Center)

Om verhoogde NH<sub>3</sub> concentraties te kunnen koppelen aan activiteiten is de hoge tijdsresolutie van de OnePlanet Research Center sensoren noodzakelijk. Maar de output van de ammoniaksensoren van OnePlanet Research Center is slechts proportioneel aan de concentratie NH<sub>3</sub>. Zoals eerder beschreven, is deze output niet direct naar een concentratie om te zetten. Om de hoogte van



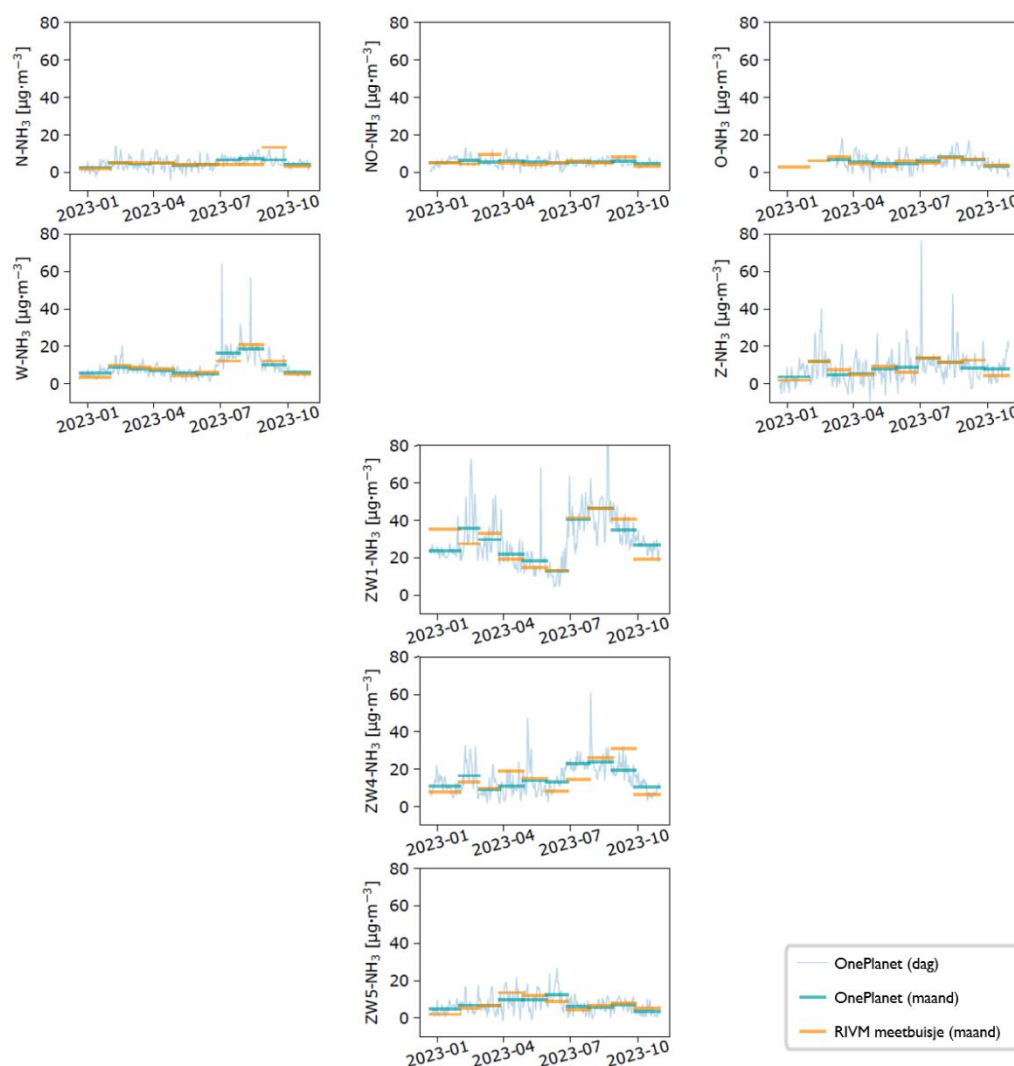
eventuele waargenomen pieken op waarde te kunnen schatten moeten de sensorwaarden worden omgezet naar concentratie aan de hand van een gevalideerde meetmethode. In deze pilot kan dat met de Gradko meetbuisjes van het RIVM, die de gemiddelde NH<sub>3</sub> concentratie in een maand meten op 10 van de 13 meetlocaties van OnePlanet Research Center. Op deze locaties kunnen de maandgemiddelden van OnePlanet Research Center worden omgezet naar de maandgemiddelden van het RIVM middels wiskundige optimalisatie.

De maandgemiddelde concentratie van de sensoren en absolute fout ten opzichte van de waarden van de RIVM meetbuisjes zijn  $2,33 \pm 4,90 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Vervolgens kunnen ook de 3-minuutwaarden van de OnePlanet Research Center sensoren worden omgezet naar NH<sub>3</sub> concentratie, om zo de concentratie te kunnen volgen over tijd en te koppelen aan activiteiten.

Bij het omzetten van sensor data in nanoampere (nA) naar concentratie aan de hand van de maandgemiddelden van de RIVM meetbuisjes moeten wel twee kanttekeningen geplaatst. Ten eerste zijn de data van de RIVM meetbuisjes nog niet gekalibreerd t.o.v. miniDOAS referentiemetingen. Ten tweede geeft de huidige meetopstelling geen mogelijkheid om te verifiëren of het omzetten van de 3-minuut sensordata betrouwbaar is. M.a.w. ook al wordt de hoogte van de pieken na het omzetten naar concentratie gegeven in  $\mu\text{g per m}^3$ , er zijn tenminste twee factoren die een onbepaalde mate van onzekerheid toevoegen aan deze schatting: de onbekende fout op de kalibratie van het meetbuisjes en de ongevalideerde omzetting van 3-minuut data aan de hand van het omzetten van het maandgemiddelde.

De kalibratie op basis van maandgemiddelden kon voor twee van de tien locaties niet worden uitgevoerd i.v.m. storingen in de OnePlanet Research Center sensorbox (zie 6.6). In

Figuur 24 staan de resultaten van de kalibratie voor de overige 8 locaties waar zowel het RIVM als OnePlanet Research Center meten.



Figuur 24 Ammoniakconcentraties gemeten van 22-12-2022 tot 30-10-2023 door het RIVM (oranje) en OnePlanet Research Center (blauw). De metingen van OnePlanet Research Center zijn gekalibreerd naar het maandgemiddelde van het RIVM. De horizontale oranje en blauwe lijnen zijn maandgemiddelden, de hoogte geeft de concentratie voor die maand, de lengte van de lijn geeft de meetperiode. De dunne blauw lijn zijn gekalibreerde daggemiddelden van OnePlanet Research Center (gekalibreerde 3-minuutswaarden kunnen ook worden berekend, maar zouden te veel data geven om hier goed weer te geven). Elke paneel is een meetlocatie; de panelen zijn in het figuur geplaatst zodat ze (grofweg) de locatie van het meetpunt rondom Liefstingsbroek reflecteren.

## 6.5 Emissie-concentratie metingen (WUR-OnePlanet Research Center)

De twee sensoren die ten noorden en ten zuiden van de meetlocatie voor stalemissies zijn geplaatst laten in een aantal gevallen een verandering zien die te relateren is aan het management in de stal. Zo wordt een regelmatig optredende piek in de ammoniakconcentratie van de noordelijk geplaatste sensor waarschijnlijk veroorzaakt door de werking van de mestschuif na het weer actief worden van het vee in de vroege ochtend.

Invloed van de stal is in het algemeen afwisselend te zien op de noordelijk en zuidelijk geplaatste sensor afhankelijk van de heersende windrichting.

Voorsnog zijn geen verbanden gevonden tussen de overige OnePlanet Research Center sensoren en de concentratie- en emissiemetingen door WLR.

## 6.6 Verstoringen

Tijdens het eerste jaar van de metingen is een aantal verstoringen van de metingen vastgelegd, zodat hiermee rekening gehouden kon worden bij het interpreteren van de resultaten.

### *Sensor defecten*

In twee NitroSense systemen bleek een NH<sub>3</sub> sensor defecten te vertonen. Deze sensoren zijn vervangen door nieuwe sensoren. Helaas is bij het vervangen de beveiliging van de sensoren niet verwijderd, waardoor de sensoren niet functioneel zijn geweest.

Bij twee andere NitroSense systemen is er sprake geweest van kortdurende defecten (vermoedelijk door condensatie als gevolg van hoge luchtvochtigheid), die ofwel vanzelf over gingen, of soms nadat de sensor een paar weken binnen was gezet om op te drogen. Bij een van die twee systemen is ook een losse weerstand gesoldeerd.

### *Leveringsproblemen*

In maart 2023 zijn geen concentratiemetingen uitgevoerd door UvA omdat er geen meetbuisjes waren geleverd.

### *Verworpen metingen*

Een aantal UvA metingen is verworpen en niet gebruikt in de meetresultaten. Hiervoor zijn verschillende oorzaken.

- In enkele gevallen en op verschillende momenten (mei, oktober) bleken meetbuisjes aangetast, tot op heden is nog niet duidelijk wat de oorzaak hiervan is geweest.
- Als een meetbuisje of bulktrechter niet meer intact bleek of met ander materiaal in aanraking is gekomen (bijv. door een val tijdens het wisselen).
- Het is enkele keren voorgekomen dat een hoge waarde in de bulkdepositiemetingen alleen te verklaren was doordat er vogelpoep in de trechter terecht gekomen was. Dit werd ondersteund door een sterk verhoogde fosfaatwaarde.

## 7 Tot slot

In de periode van november 2022 tot maart 2023 hebben de meetpartners hun meetopstellingen in het gebied geplaatst en de metingen lopen inmiddels dus enige tijd. De activiteitenregistratie, database en dashboard zijn opgezet en worden regelmatig bijgewerkt. Door de medewerking van de mensen in het gebied (activiteitenregistratie en aanvullende informatie op verzoek) wordt een zo compleet mogelijk beeld van de situatie in het gebied opgebouwd. De resultaten van de afzonderlijke meetmethoden zijn nu van tenminste negen maanden beschikbaar. In deze rapportage zijn de resultaten opgenomen die eind december 2023 beschikbaar waren. Hieruit blijkt onder meer dat er regelmatig een relatie te leggen is tussen activiteiten in het gebied (zoals mest mixen, activiteit van zware (diesel)machines of mest uitrijden) en de concentratiewaarnemingen. De combinatie van data van verschillende partijen levert waardevolle inzichten op. Zo is een vergelijking te maken tussen de concentratiemetingen van RIVM en UvA, en kunnen de meetwaarden van RIVM gebruikt worden voor een kalibratie van de OnePlanet Research Center sensoren.

In de komende periode verzamelen de meetpartners meer data en analyseren die gezamenlijk. De metingen lopen nog door tot oktober 2024 en de volgende voortgangsrapportage is gepland voor september 2024 met eindrapportage in het eerste kwartaal van 2025.

## 8 Referenties

- Bijlsma, R.J. (2008). *Bosreservaten: koplopers in de natuurlijke ontwikkeling van het Nederlandse boslandschap*. (Alterra-rapport; No. 1680). Alterra.
- Mekkink, P., 2003. De bodemgesteldheid van bosreservaten in Nederland. Deel 8 Bosreservaat Liefstingsbroek. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 60.8.
- Programma Aanpak Stikstof Gebiedsanalyse Liefstingsbroek (21), Provincie Groningen 15 december 2017
- Natuurdoelanalyse Liefstingsbroek, Renée Bekker April Fikenscher en Edwin van Hooff, Provincie Groningen, 25 januari 2023
- Mosquera, J., J.P.M. Ploegaert, en G.C.C. Kupers. (2019). Determination of ammonia concentrations in air from livestock housing systems. Reference method using gas washing as applied by Wageningen Livestock Research. Wageningen Livestock Research Rapport 1187.
- Mosquera, J., J.P.M. Ploegaert, en G.C.C. Kupers. (2020). Determination of carbon dioxide concentrations in air from livestock housing systems: reference method using the lung method as applied by Wageningen Livestock Research. Wageningen Livestock Research, Report 1284.
- Oberg, A. L., & Mahoney, D. W. (2007). Linear mixed effects models. *Topics in biostatistics*, 213-234.
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera, S. Calvet Sanz, en G. Zhang. (2013). Methods for measuring gas emissions from naturally ventilated livestock buildings: Developments over the last decade and perspectives for improvement. *Biosystems Engineering*. 116(3):297-308.  
doi:10.1016/j.biosystemseng.2012.10.005.
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera, en J.M.G. Hol. 2017. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a. Wageningen Livestock Research, Rapport 1032.
- Pedersen, S., en K. Sällvik. (2002). 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels. CIGR,  
[https://www.cigr.org/sites/default/files/documets/CIGR\\_4TH\\_WORK\\_GR.pdf](https://www.cigr.org/sites/default/files/documets/CIGR_4TH_WORK_GR.pdf)
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, M.J.W. Heetkamp, en A.J.A. Aarnink. (2008). Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR E journal*. Manuscript BC 08 008
- Tang, Y.S., Stephens, A., Poskitt, J., Centre for Ecology & Hydrology, 2017. CEH ALPHA Sampler Instructions.