



Meetwerk met Maatwerk Liefstinghsbroek



1^e rapportage
September 2023



Samenvatting

Om de invloed van stikstof in 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’.

In deze pilot wordt stikstof (-emissie, -concentratie en -bulkdepositie) gemeten in en rond Liefstingsbroek. Zes partijen werken op verzoek van de adviescommissie aan deze pilot mee. Dit zijn: Wageningen University & Research (WUR)¹, OnePlanet Research Center, Universiteit van Amsterdam (UvA), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Zicht op Stikstof en Nederlandse organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO).

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.

De invulling die de meetpartners hiervoor hebben gekozen is als volgt: In het Natura 2000 en het daar direct omheen gelegen gebied (bufferzone) wordt bulkdepositie gemeten, en op een klein aantal bedrijfslocaties binnen een straal van 3 km wordt de ammoniakemissie gemeten. Daarnaast zijn er concentratiemetingen in de omgeving. Deze zijn te verdelen in real-time metingen met sensoren en gemiddelde concentratiemetingen met meetbuisjes. De real-time metingen (voor het kunnen waarnemen van pieken) vinden plaats in de zone om het Natura 2000-gebied heen, en in een meetlijn in de dominante windrichting (zuidwest). Op vrijwel elk van deze locaties wordt ook de maandgemiddelde concentratie gemeten. Daarnaast wordt de gemiddelde concentratie ook op de locaties van de bulkdepositiemetingen gemeten. Verder worden meteorologische metingen gedaan en registreren mensen uit het gebied welke activiteiten plaatvinden waarbij stikstofemissie optreedt. Zo ontstaat een zo compleet mogelijk beeld.



Figuur 1 Liefstingsbroek (midden) en foto's van een aantal van de gebruikte meetopstellingen.

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 een beperkt aantal maanden beschikbaar. Hieruit blijkt onder meer dat er in sommige gevallen een relatie te leggen is tussen activiteiten in het gebied en de concentratiewaarnemingen. Het is echter nog te vroeg om de data van de verschillende partijen te combineren. In de komende periode verzamelen de meetpartners meer data en gaan die gezamenlijk analyseren.

¹ Bijdrage van Wageningen University & Research wordt geleverd 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 waterschappen 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.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	2
Dankwoord	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
1.7 Leeswijzer	7
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.....	16
3.5 Meteostation.....	17
3.6 Datasysteem.....	18
4 Data-analyse.....	20
4.1 Analysemethode(n).....	20
4.2 Combinaties van data.....	20
5 Voorlopige resultaten.....	21
5.1 Emissies veehouderijen	21
5.2 Concentraties buitenlucht.....	22
5.3 Depositie.....	26
6 Tot slot.....	29
7 Referenties	30

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 invloed van stikstof op het Liefstingsbroek te verminderen. Deze adviescommissie heeft voorgesteld 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 zes partijen (in vervolg meetpartners genoemd) gevraagd mee te werken aan deze pilot. Dit zijn:

- Wageningen University & Research (WUR)²,
- OnePlanet Research Center,
- Universiteit van Amsterdam (UvA),
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM),
- Zicht op Stikstof (een project van provincie Friesland),
- 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 de stikstofkringloop. Deze pilot is een separaat meetproject dat nauw verbonden is aan het opstellen van een gebiedsgerichte aanpak.

1.2 Doel adviescommissie

De adviescommissie maakt voor het opstellen van het advies gebruik van extra stikstof metingen, water / bodem onderzoeken, 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 ook een toekomstbestendige positie voor de landbouw te realiseren. 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 NO₂ (stikstofdioxide) en NH₃ (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?
- De inzichten die meetgegevens opleveren gebruiken om zinvolle maatregelen te formuleren die de stikstofbelasting met maatwerk verminderen of anderszins de natuurkwaliteit verbeteren.

² Bijdrage van Wageningen University & Research wordt geleverd door Wageningen Livestock Research (WLR)

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 met welke methoden 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 realiseren. 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.

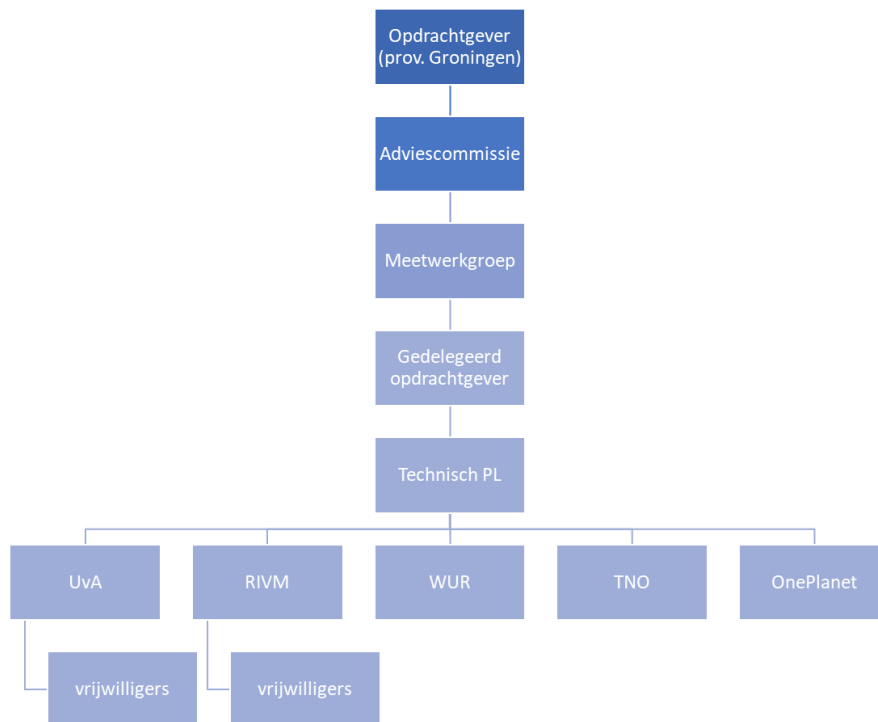
De adviescommissie heeft een meetwerkgroep ingesteld. Deze werkgroep informeert de adviescommissie over bevindingen uit het meetwerk die relevant zijn voor het formuleren van adviezen inzake maatwerk maatregelen.

Prolander is door de adviescommissie gevraagd om het contact met het gebied te verzorgen.

1.6 Samenwerking

De zes 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.



2

Figuur 2 Organisatiestructuur van de samenwerking.

1.7 Leeswijzer

Deze rapportage is de eerste in een afgesproken reeks die regelmatig een overzicht geeft van de resultaten van de meetpilot en aan de adviescommissie wordt aangeboden. Hoofdstuk 2 geeft een korte situatieschets van Liefstingsbroek, daarna volgt in Hoofdstuk 3 per meetpartner een beschrijving van de meetmethoden. De manier waarop data-analyse plaatsvindt is opgenomen in hoofdstuk 4, gevolgd door hoofdstuk 5 waarin een selectie van voorlopige resultaten staat. In deze eerste rapportage staan geen conclusies of verklaringen. Zoals in de inleiding al genoemd, is het trekken van conclusies over maatregelen voorbehouden aan de meetwerkgroep/adviescommissie.

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.

Liefstingsbroek is een Natura 2000-gebied voor de habitattypen Blauwgraslanden (H6410), Beuken-eikenbossen met hulst (H9120), Eiken-haagbeukenbossen (H9160A) en Hoogveenbossen (H91D0).

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).

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 detail.

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)?
 - a. Welke waarden zijn betrouwbaar te meten?
 - b. Hoe vaak 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 komen de meetpartners tot de volgende meetstrategie: (Zie Tabel 1 voor een overzicht)

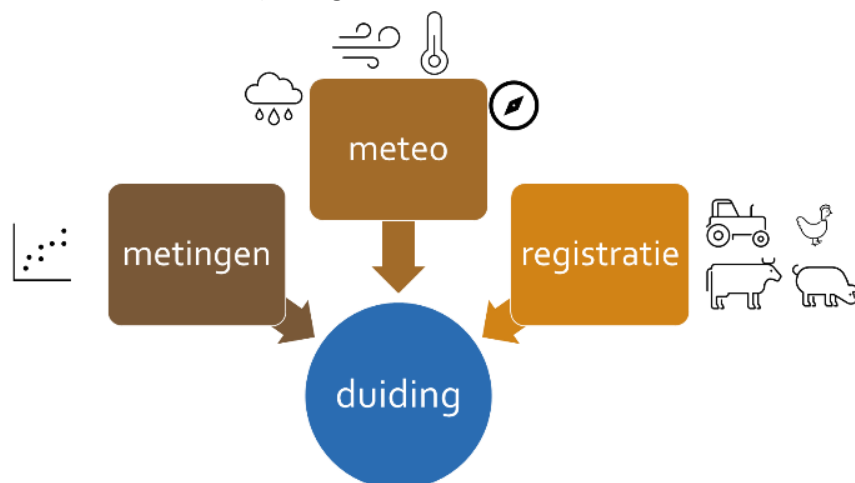
- Bulkdepositie (een combinatie van natte depositie en een deel van de droge depositie) wordt gemeten in het Natura 2000-gebied en de daar direct omheen liggende bufferzone.
- Emissie wordt gemeten op een klein aantal bedrijfslocaties binnen 3 km van het Natura 2000-gebied.
- Concentratiemetingen zijn verdeeld in real-time metingen (sensoren) en gemiddelde 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 ₃ [kg]	E	Continue	1-3	Dag	Hele jaar	WUR
NH ₃ [kg]	E	Puntmeting	1-3	24h	6x per jaar	WUR
N ₂ O [kg]	E	Puntmeting	1-3	24h	6x per jaar	WUR
NH ₃ [nA]	C	Sensor (elektrochemisch)	11	3 min	Hele jaar	OnePlanet
NH ₃ [µg/m ³]	C	Meetbuisje + Lab analyse (extern)	11	1 maand	Hele jaar	RIVM
NH ₃ [µg/m ³]	C	Meetbuisje + Lab analyse (intern)	22	1 maand	Hele jaar	UvA
NO ₂ [nA]	C	Sensor (elektrochemisch)	11	3 min	Hele jaar	OnePlanet
NO ₂ [µg/m ³]	C	Meetbuisje	3	1 maand	Hele jaar	RIVM
NO ₃ +NO ₂ [µmol/l] NO ₂ [µmol/l] NH ₄ [µmol/l] PO ₄ [µmol/l] SO ₄ [µmol/l] DON [µmol/l]*	D	Bulkbemonstering Lab analyse (intern)	22	1 maand	Hele jaar	UvA

* DON: Dissolved Organic Nitrogen

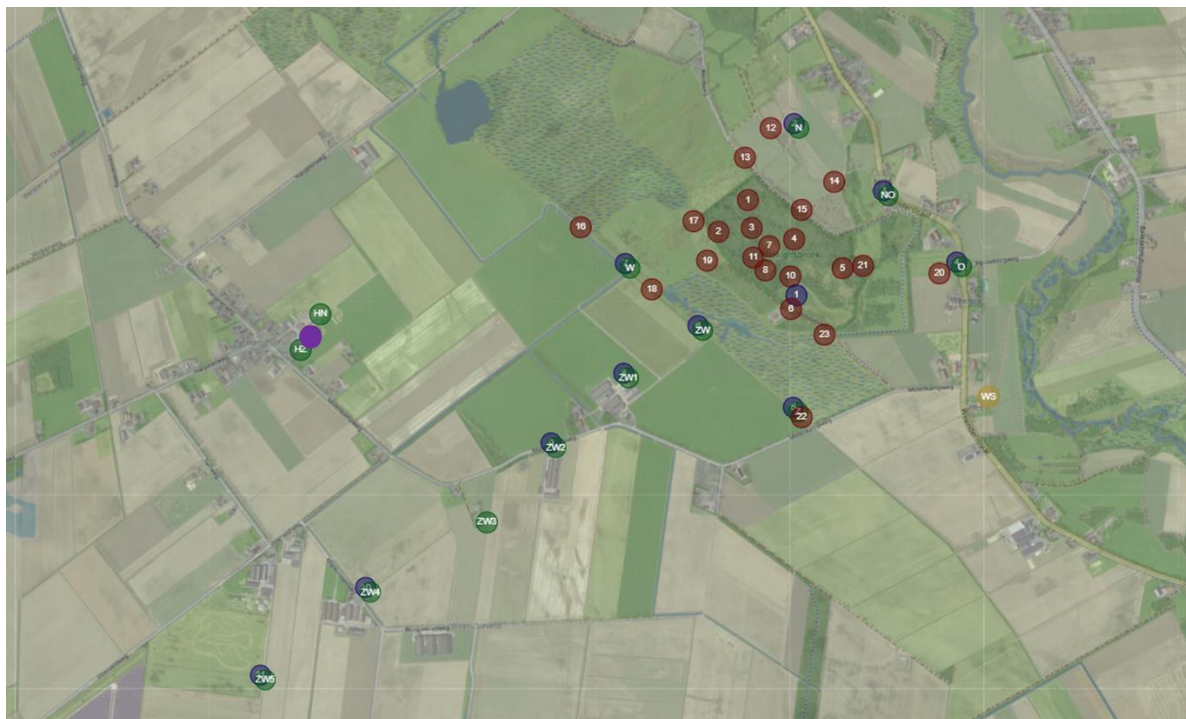
Op basis van eerdere ervaringen van de meetpartners moeten er naast metingen ook meteorologische gegevens worden verzameld en moeten activiteiten in het gebied worden geregistreerd. Daarmee wordt het mogelijk de koppeling te maken tussen meetdata en mogelijke bron (zie Figuur 4). Om deze reden is ook 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. De metingen van WUR vinden 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 de CO₂ gebruikt die de dieren en de mest in de stal produceren. De tracergas ratiomethode vereist representatieve metingen van het tracergas (CO₂) en het doelgas (NH₃ en N₂O) 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

contante flow van 400-500 ml/min door alle punten mogelijk en ontstaat aan het eind van de monsternaleiding 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 NH₃ en CO₂ concentratie in de lucht. Op de monsterbuis zijn ook tappunten aangebracht voor de meting van de concentratie van methaan (CH₄) 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 CO₂ 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);
- Kooldioxide: Near Infra Red (NIR) sensor (CARBOCAP® CO₂-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 (NH₃, CH₄, CO₂), voor de bepaling van de achtergrondconcentratie (NH₃ en CH₄) en voor de berekening van de emissie van lachgas (N₂O). Voor N₂O 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 NH₃ 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 NH₃ 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 CO₂-productie in de stal (PCO_{2i} ; in m³ CO₂/uur) en de gemiddelde CO₂-, NH₃- of N₂O-concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_{stal_i} ; in mg/m³) en in de ingaande lucht (C_{buiten_i} ; in mg/m³) en het aantal dierplaatsen (n) volgens:

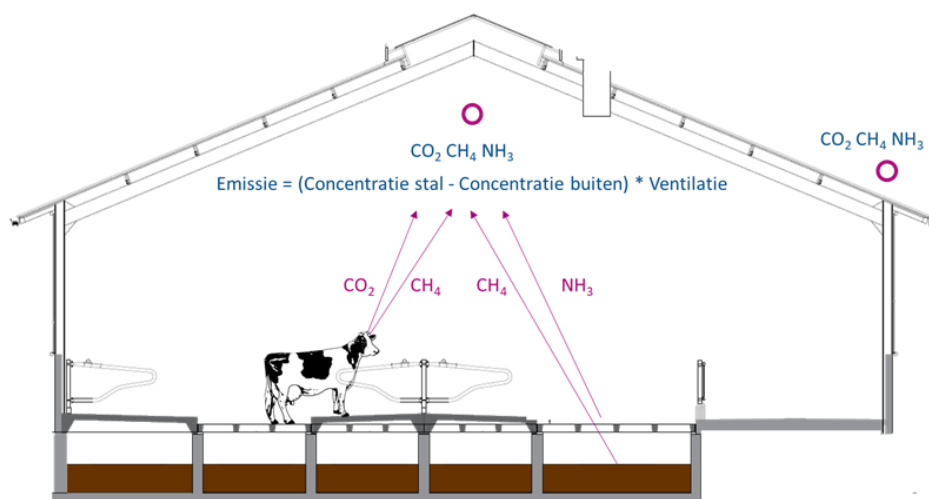
$$E_i = PCO_{2i} \cdot \frac{(C_{stal_i} - C_{buiten_i})}{(CO_{2stal_i} - CO_{2buiten_i})} \cdot \frac{24 \cdot 365}{10^6 \cdot n}$$

De CO₂-productie in de stal (PCO_2) wordt berekend volgens Pedersen and Sällvik (2002) en Pedersen et al. (2008). Daarvoor zijn de volgende bedrijfsgegevens nodig:

- 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).



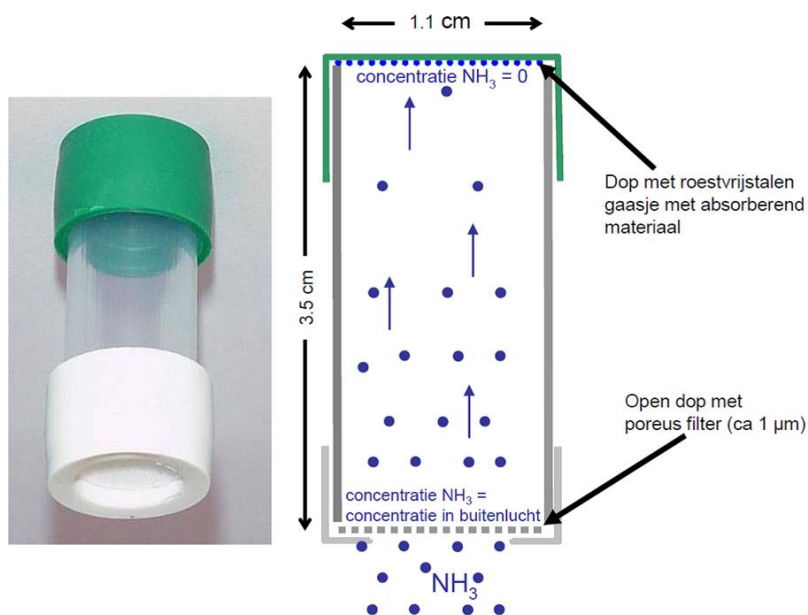
Figuur 6 Schematische weergave emissiemetingen in een natuurlijk geventileerde stal door WUR/WLR.

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 concentratie in de lucht van ammoniak 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.

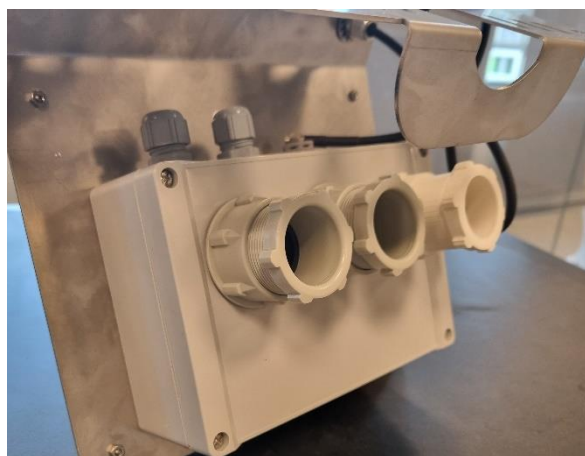
De meetmethode via de meetbuisjes is voor ammoniak en stikstofdioxide in grote lijnen hetzelfde. Via de onderkant van de buisjes komt de lucht met ammoniak of stikstofdioxide in het buisje (passief). Boven in het meetbuisje bevindt zich een vloeistof die alle ammoniak of stikstofdioxide in het buisje 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 prinseschems meetbuisjes van RIVM.

3.3.3 OnePlanet Research Center

De concentratie van NO_2 en 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 NO_2 en NH_3 te meten. In een elektrochemische sensor wordt een stroom opgewekt als de sensor in aanraking komt met het gas, in dit geval NO_2 of NH_3 : hoe hoger de concentratie van het gas, hoe hoger de stroomsterkte. 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.



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_2 , NH_3 , temperatuur/luchtvochtigheid.

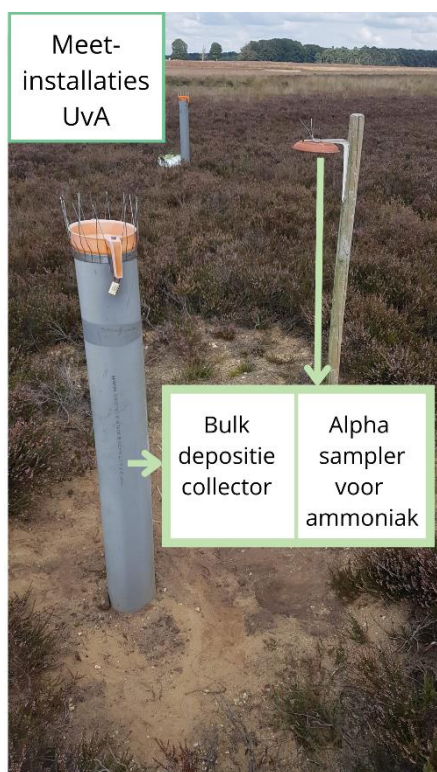
3.3.4 UvA

Bulkdepositie (de som van natte en een deel droge depositie) en atmosferische ammoniakconcentraties worden maandelijks gemeten door de UvA.

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 stikstof componenten 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 9). Om de hoeveelheid neerslag te bepalen, wordt het gewicht van het water in het veld bepaald. De concentratie van ammonium (en NO_3 , NO_2 , DON, SO_4 en PO_4) wordt vervolgens in het laboratorium van de UvA bepaald. De 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'. Deze werkt op een vergelijkbare manier als de passieve samplers van het RIVM. Deze alpha samplers zijn bevestigd onder schotels. 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 container stil staat. Aan de binnenkant van de container zit een filterpapiertje bedekt in citroenzuur, waar de ammoniak aan blijft plakken. De atmosferische ammoniak wordt vervolgens in het laboratorium bepaald.

In Figuur 9 zijn de meetinstallaties van de UvA weergegeven.



Figuur 9 Meetopstellingen voor bulkdepositie en maandgemiddelde ammoniakconcentraties van UvA.

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 mogelijk te maken is het formulier reeds voorzien van relevante keuzemogelijkheden (zie Figuur 10). Een deelnemer hoeft alleen aan te klikken welke activiteit, op welke locatie wordt opgegeven.

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

1. Op welk perceel heeft een activiteit plaatsgevonden?
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 10 Registratieformulier bedrijfsactiviteiten van Prolander.

3.5 Meteostation

Het meteostation (type: Davis 6322 – wireless vantage pro2) 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)

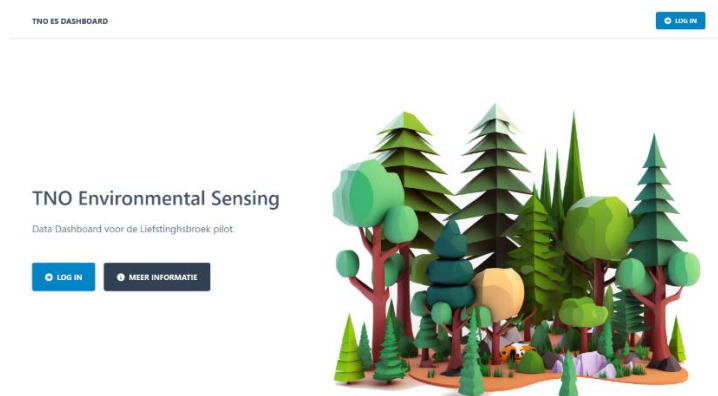
De sensor- en andere data worden door de partners gedeeld in het ESDS (Environmental Sensing Data Space). Elke partner zorgt ervoor dat data beschikbaar zijn voor de overige meetpartners via een server op basis van de standaarden van de OGC (Open Geospatial Consortium). Voor de sensordata gaat het om 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 11-Figuur 13).



Figuur 11 Welkomsscherm Environmental Sensing Data Space (ESDS) van TNO.

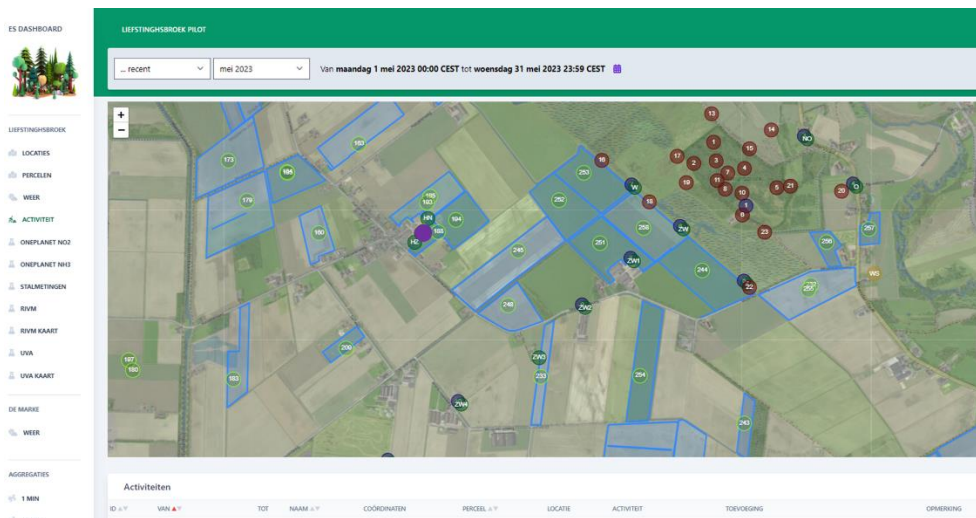
Het dashboard bestaat uit een deel dat in de browser van de gebruiker draait (“frontend”) dat zorgt voor de navigatie en de opbouw en het tekenen van alle grafieken en plattegronden. In de TNO-cloud draait de backend die zorgt voor de autorisaties en het frontend voorziet van de juiste informatie.

Deze verdeling, waarbij een belangrijk deel van de applicatie bij de gebruiker draait, zorgt voor snellere response en meer mogelijkheden voor interactieve presentatie van data. Het “backend” 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.

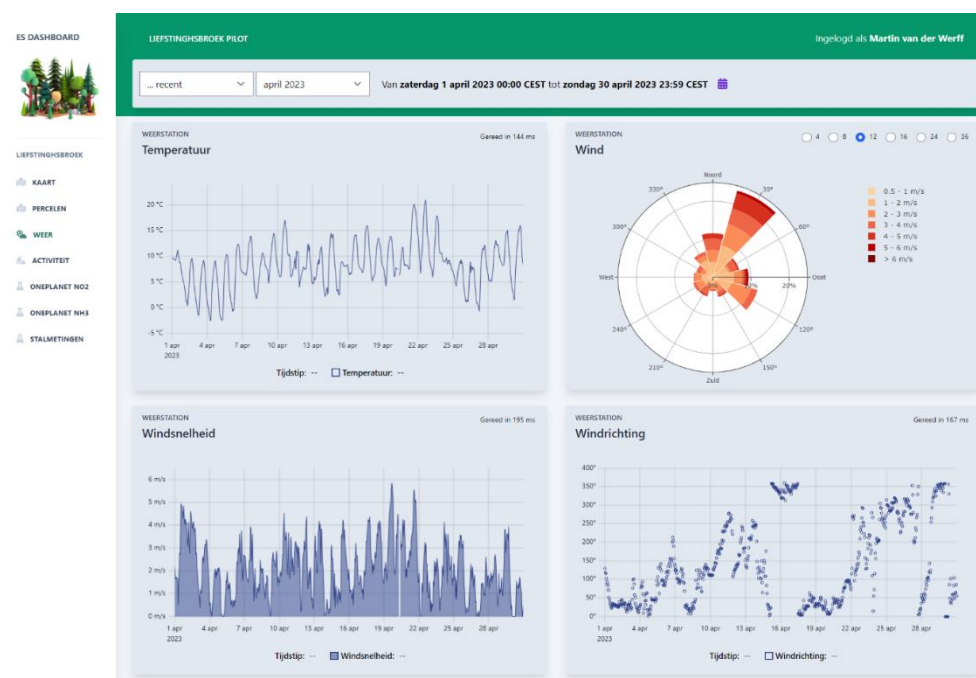
Het dashboard is nog in ontwikkeling en bevat op dit moment de volgende informatie:

- Meetlocaties
- Kavels/ gewaspercelen
- Activiteiten

- Meteodata
- NO₂ en NH₃ metingen van OnePlanet Research Center
- Stalmetingen van WUR/WLR
- NO₂ en NH₃ concentratie van RIVM
- NH₃ concentratie, en bulkdepositie van Uva



Figuur 12 Weergave meetpunten en percelen in en rond Liefstingsbroek in het ESDS.



Figuur 13: Voorbeeld van de dataweergave in het ESDS.

4 Data-analyse

4.1 Analysemethode(n)

4.1.1 WUR

De gemeten concentraties worden verwerkt tot emissies van ammoniak (NH_3) per dag uitgedrukt in kg per dierplaats per jaar (zie paragraaf 3.3.1). Analyse van de relaties tussen emissies en overige bedrijfs- of omgevingsfactoren of gegevens van de Kringloopwijzer (KLW) en de analyse van de relatie tussen 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 rekening te houden met het studieontwerp met herhaalde metingen, zal hierbij gebruik worden gemaakt van 'linear mixed effect models' (Oberg & Mahoney, 2007), met de meetlocatie als random effect.

4.2 Combinaties van data

In deze eerste rapportage worden nog geen combinaties gemaakt tussen de data van verschillende partijen. Daarvoor zijn nog te weinig meetgegevens beschikbaar en is de periode waarin is gemeten te kort. In een volgende rapportage zal daar wel mee begonnen worden.

Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan de stalconcentraties en -emissies van WUR en de atmosferische ammoniakconcentraties van OnePlanet Research Center die op termijn met elkaar kunnen worden gerelateerd, rekening houdend met de meteorologische data (windrichting, windsnelheid, temperatuur en regen). Windrichting en windsnelheid kunnen worden vertaald naar vectoren, om zo de hoeveelheid lucht die vanuit de stal richting de sensor wordt geblazen te benaderen. Hier moet ook rekening worden gehouden met de afstand tussen de stal en de sensor, temperatuur en regenval. Deze analyses zijn vooralsnog alleen over beperkte afstanden mogelijk, vanwege verdunningseffecten (dispersie) en beperkingen van gebruikte apparatuur (meetonzekerheden).

Daarbij moet ook rekening gehouden worden met het feit dat andere emissiebronnen in de nabije omgeving ook invloed kunnen hebben op de atmosferische ammoniakconcentratie. Een mogelijke oplossing hiervoor is het formuleren van categorieën op basis van windrichting (wind komt van bron A, bron B, geen bron). Voor de link naar de emissie van bron A (WUR), zouden we dan in de statistische analyse alleen gebruik maken van de meetmomenten waar de wind kwam van bron A.

De grootheden zullen veelal nog nader worden gekalibreerd, maar de patronen kunnen al worden vergeleken. De analyse kan dan worden herhaald wanneer kalibratie/omrekening heeft plaatsgevonden.

5 Voorlopige resultaten

5.1 Emissies veehouderijen

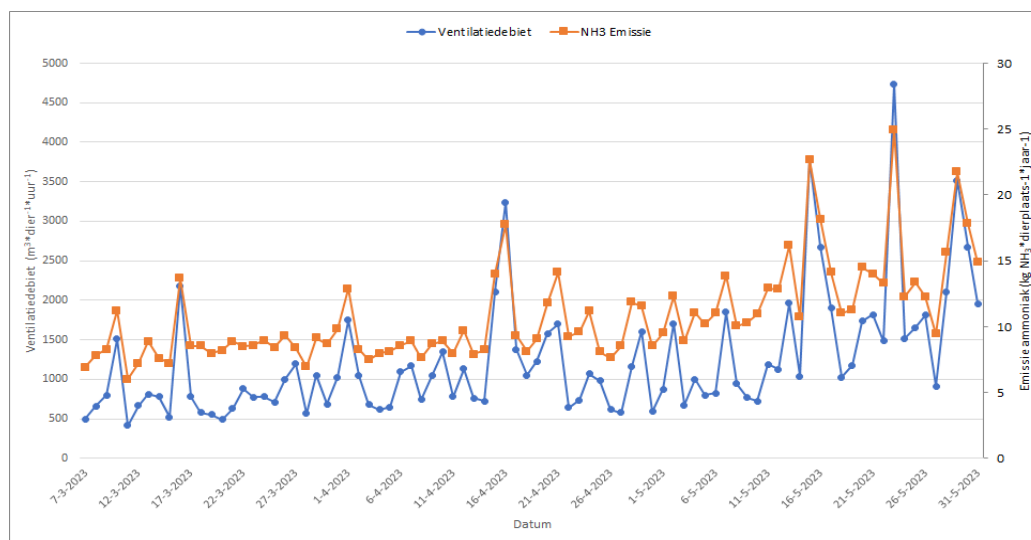
5.1.1 Omliggende veehouderijen Kringloopwijzer

Verzameling en verwerking van de gegevens van de Kringloopwijzer wordt in een later stadium van het project uitgevoerd.

5.1.2 Stalmeting locatie 1 (WUR)

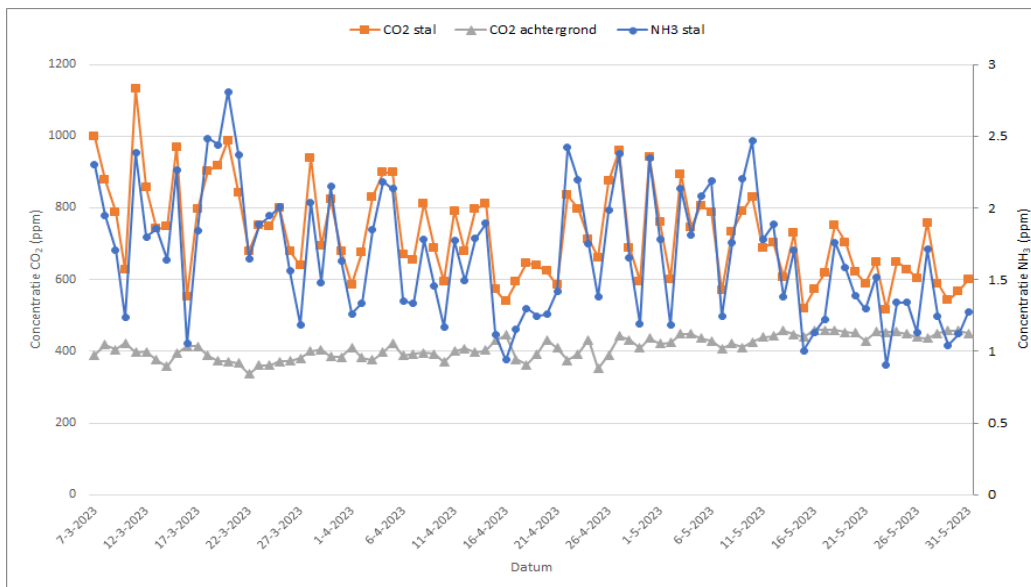
De emissiemetingen in deze rapportage hebben betrekking op één locatie. De metingen zijn volgens plan verlopen. De stalmetingen zijn op 7 maart 2023 gestart. De resultaten die hier gepresenteerd worden, zijn van de periode tot 1 juni 2023. Het zijn voorlopige resultaten op basis van de continue emissiemetingen. In deze periode zijn twee puntmetingen uitgevoerd. Resultaten van deze metingen zijn gebruikt voor controle van de sensoren die gebruikt worden voor continue emissiemetingen en voor bepaling van de ammoniakconcentratie in de buitenlucht. Zodra voldoende informatie datapunten beschikbaar zijn, zal hiermee ook worden gekalibreerd.

De gemiddelde emissie van ammoniak in deze periode was 10,8 kg NH₃ per dierplaats per jaar met een standaarddeviatie van 3,6 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Het verloop van de emissie van ammoniak en het ventilatiedebiet in deze periode is weergegeven in Figuur 14. Het verloop van de ammoniakemissie laat een langzaam stijgende trend zien die waarschijnlijk veroorzaakt wordt door toenemende buitentemperatuur. De variatie in emissies houdt sterk verband met het ventilatiedebiet. Dit wordt vooral bepaald door windsnelheid en -richting.



Figuur 14 Verloop van ammoniakemissie per dag in kg NH₃ per dierplaats per jaar en het ventilatiedebiet in m³ per dier per uur.

Concentratie van kooldioxide en ammoniak in de stal en kooldioxide van de buitenlucht is weergegeven in Figuur 15. Verloop van de concentratie van ammoniak en kooldioxide in de stal vertonen een vergelijkbaar patroon, veroorzaakt door weersomstandigheden (wind).



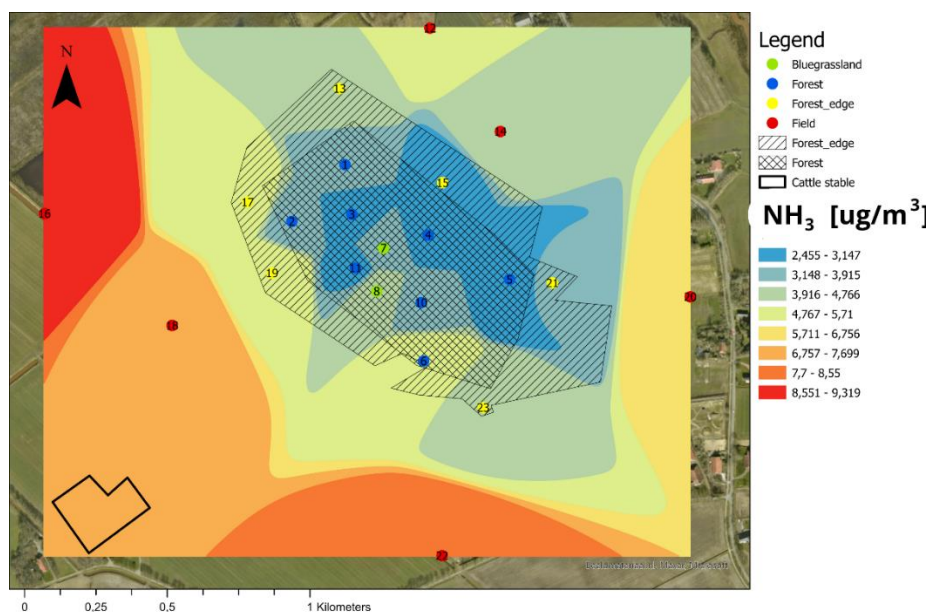
Figuur 15 Verloop van concentratie van NH₃ en CO₂ in de stal en CO₂ in de buitenlucht in ppm.

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

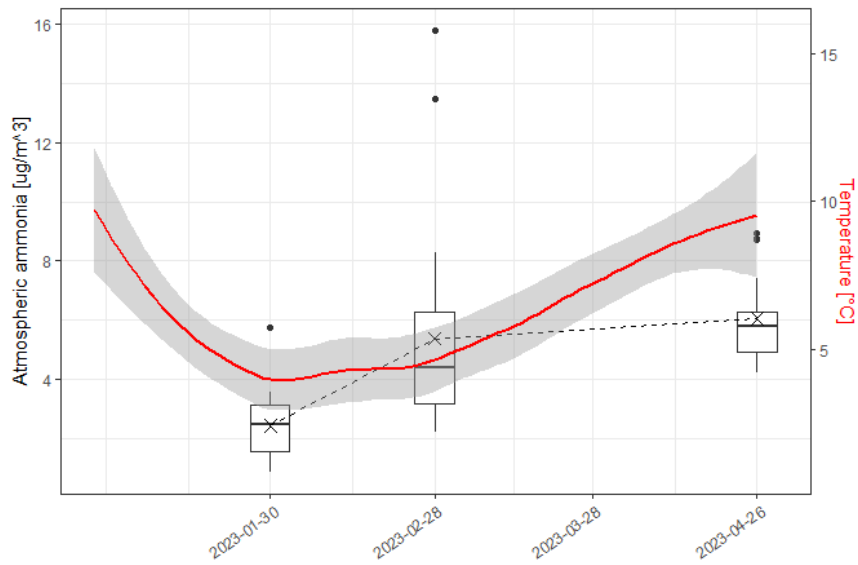
5.2 Concentraties buitenlucht

5.2.1 Maandgemiddelde concentraties NO₂ en NH₃ (UvA)

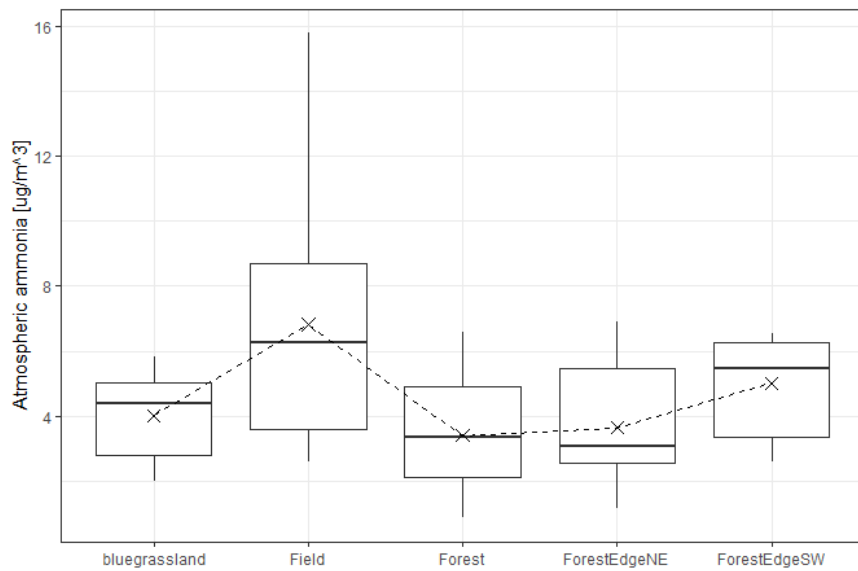
De ammoniakconcentraties in het natuurgebied zijn door de UvA bepaald aan de hand van meetbuisjes (zie 3.3.4). In Figuur 16 zijn de gemiddelde waarden van alle metingen weergegeven over een kaart van het natuurgebied. Interpolatie tussen meetpunten is uitgevoerd volgens de Inverse distance weighting methode. Waarden van atmosferische ammoniak varieerden over tijd (Figuur 17). De veldpunten en de bosrand in het zuidwesten hadden hogere waarden dan punten in het noordoosten (Figuur 18).



Figuur 16 Gemiddelde concentraties atmosferische ammoniak, van alle meetmomenten, over ruimte. Ruimtelijke interpolatie is gedaan met 'Inverse Distance Weighting'.



Figuur 17 Verloop van maandgemiddelde concentraties (linker as) en temperatuur (rechter as) als functie van de tijd.

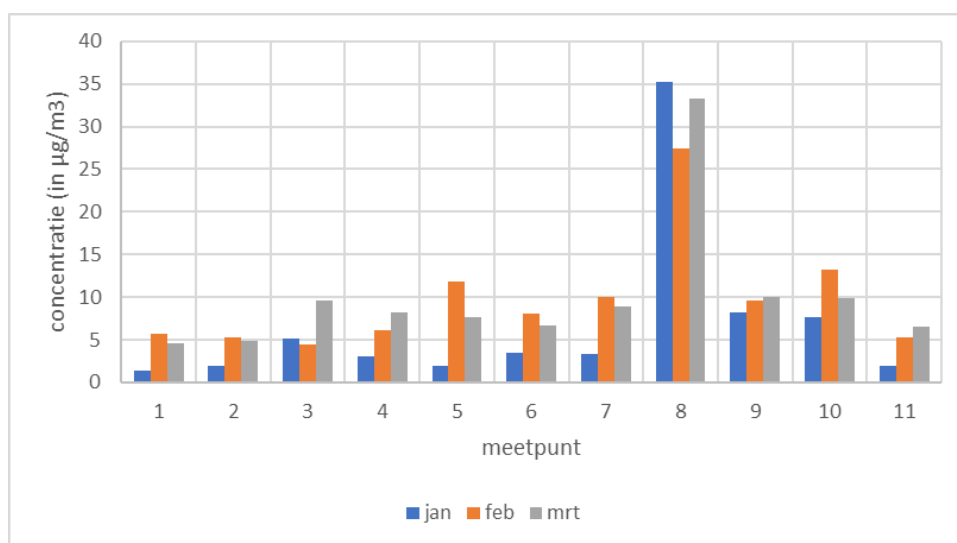


Figuur 18 Gemiddelde concentraties ammoniak per type terrein.

5.2.2 Maandgemiddelde concentraties NO₂ en NH₃ (RIVM)

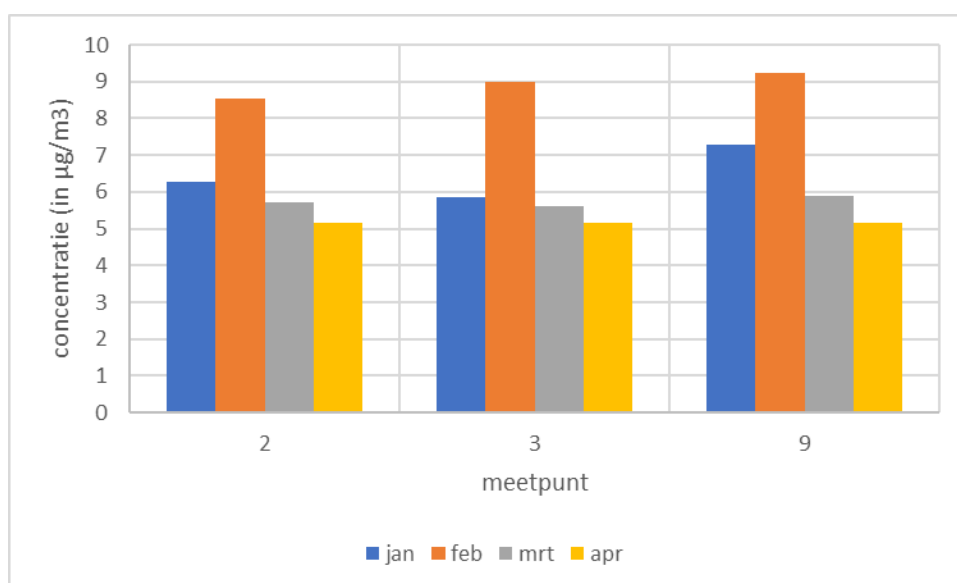
De metingen van het RIVM bestaan uit NH₃ en NO₂ concentratiemetingen met behulp van meetbuisjes (zie 3.3.2). De (nog niet gekalibreerde) meetresultaten zijn beschikbaar voor het eerste kwartaal van 2023.

In Figuur 19 zijn de ammoniakconcentraties voor de 11 meetpunten weergegeven voor de periode januari-maart 2023. In januari zijn de concentraties over het algemeen duidelijk lager dan in februari en maart, met niveaus die ten noorden van het gebied gemiddeld lager liggen dan die ten zuiden van het gebied. Een duidelijk afwijkend beeld laat meetpunt 8 (Meetlijn ZW1) zien. Hier is de gemeten gemiddelde concentratie circa 4 keer zo hoog als die voor de overige meetpunten. Een vergelijking met de UvA metingen in de bosranden laat zien dat de RIVM-metingen over het algemeen iets hoger liggen. Dit is verklaarbaar vanwege het feit dat de meetpunten van het RIVM niet in het natuurgebied, maar er net buiten liggen (met uitzondering van meetpunt 1).



Figuur 19 Ammoniakconcentraties voor de periode januari-maart 2023, voor de 11 meetlocaties

In vergelijking met de ammoniakconcentraties, vertonen de stikstofdioxideconcentraties een gelijkmatiger patroon met een gemiddelde rond 6,5 µg/m³ voor de drie meetpunten.



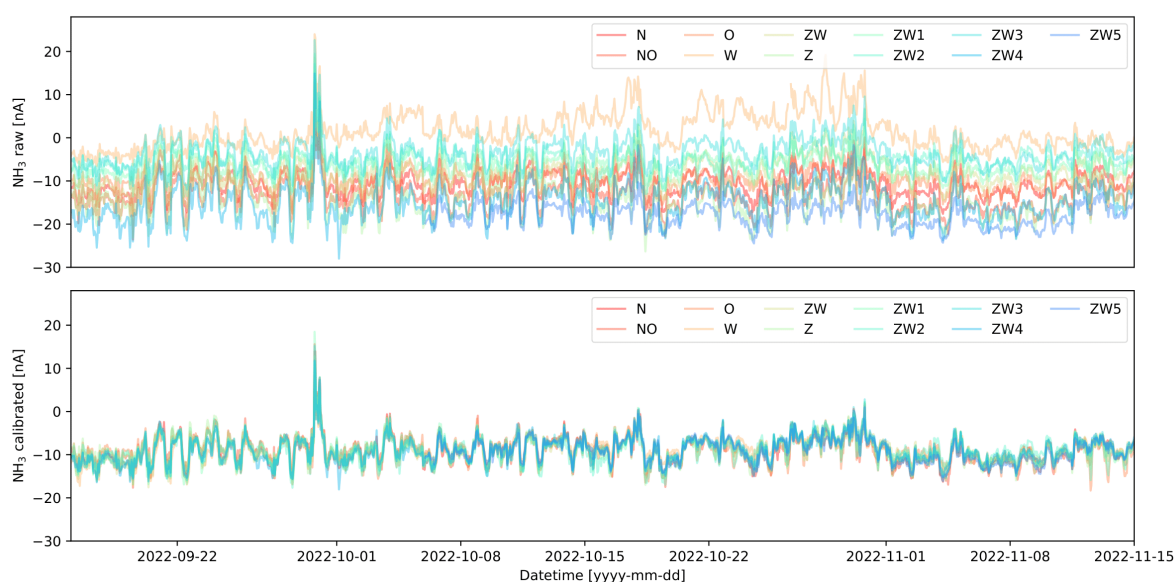
Figuur 20 Stikstofdioxideconcentraties voor de periode januari-april 2023, voor de 3 meetlocaties

5.2.3 Sensormetingen concentraties NO₂ en NH₃ (OnePlanet Research Center)

5.2.3.1 Tijdsreeks kalibratie

De sensormetingen geven relatieve concentraties NO₂ en NH₃. De sensoren zijn niet gekalibreerd. De door de fabrikanten aangeleverde kalibratiecoëfficiënten zijn alleen valide bij een temperatuur van 20 °C en een relatieve luchtvochtigheid van 60%. De fabrikanten laten ook zien dat de output van de sensoren afhankelijk is van temperatuur en luchtvochtigheid. Omdat de sensoren in dit project buiten staan, waar de luchtvochtigheid en temperatuur nogal fluctueren, kunnen de aangeleverde kalibratiecoëfficiënten dus niet worden gebruikt, en kijken we naar de ruwe output van de sensoren in nanoampère (nA). Deze output is proportioneel aan de concentratie NO₂/NH₃.

Om de output van de sensoren zoveel mogelijk op elkaar te laten lijken worden ze ‘gekalibreerd’ naar het groepsgemiddelde. Hiervoor zijn de sensoren een aantal weken bij elkaar gehangen (co-locatie), voordat ze op hun uiteindelijke positie werden geïnstalleerd. Aan de hand van deze kalibratie wordt de variatie tussen NH₃ sensoren met een factor 3.25 kleiner gemaakt (zie Figuur 21)

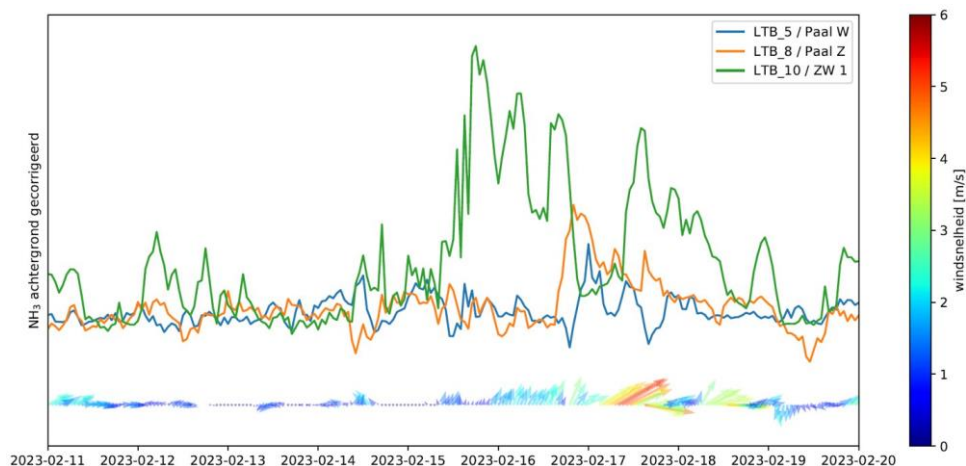


Figuur 21 Ruwe NH₃ data tijdens co-locatie periode, waarin alle sensor boxen op dezelfde plek hingen. Het bovenste paneel laat de ruwe data zien. Het onderste figuur laat dezelfde data zien waarop een kalibratie naar het groepsgemiddelde is toegepast. Hierin is te zien dat de kalibratie leidt tot een reductie van de variabiliteit tussen sensoren.

5.2.3.2 Pieken: relatie met wind en activiteiten

De winddata gemeten door het weerstation van TNO kan worden gebruikt om te bepalen uit welke richting een verhoogde concentratie NO₂/NH₃ 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.

Halverwege februari is hiervan een duidelijk voorbeeld te zien (zie Figuur 22). Er werden hoge concentraties gemeten bij paal ZW1. Gegeven de windrichting van die dagen werd de bron ten zuiden van deze paal gezocht. Op die locatie werd op diezelfde dagen mest gemixt. Op twee naburige palen (W en Z) werd een iets lagere concentratie gemeten op tijden dat er mest werd uitgereden op de percelen naast die palen.

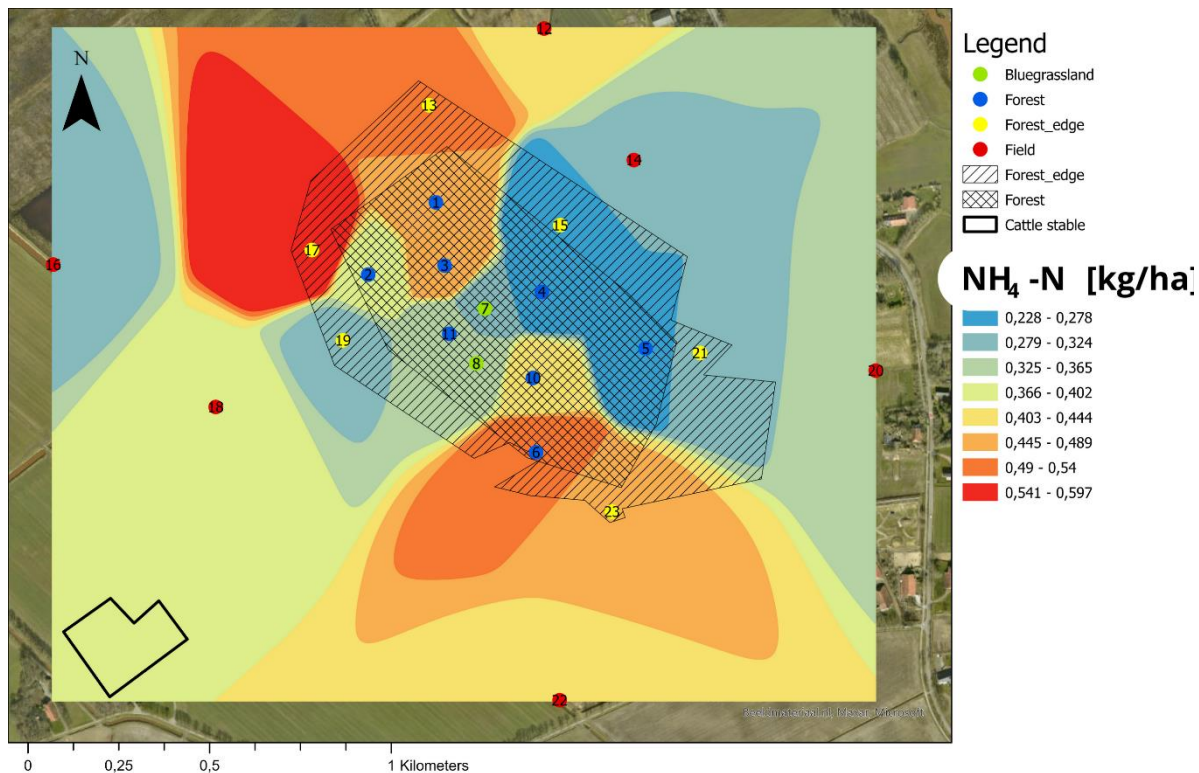


Figuur 22 sensormetingen bij activiteiten waarbij ammoniak vrijkomt.

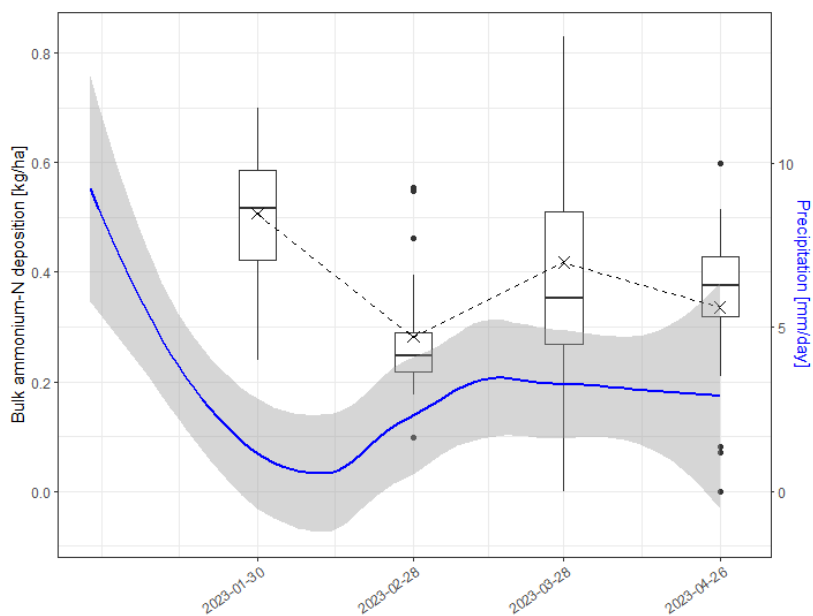
5.3 Depositie

5.3.1 Bulkdepositie (UvA)

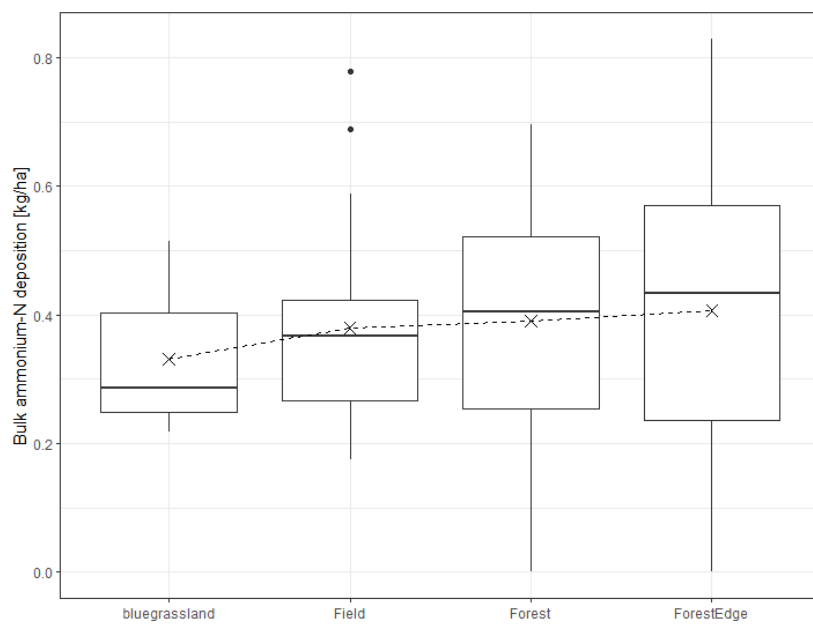
De bulk ammonium (NH_4) depositie in en rondom het natuurgebied is door de UvA bepaald aan de hand van bulksamplers (zie 3.3.4). Een belangrijke kanttekening hierbij is dat bulkdepositie bestaat uit natte depositie en een deel van de droge depositie. Interacties met flora, micro-organismen en bodems zijn hier niet in meegenomen. De gerapporteerde waarden zullen dus lager uitvallen dan de daadwerkelijke depositie. In Figuur 23 zijn de gemiddelde waarden van alle metingen weergegeven over een kaart van het natuurgebied. Ruimtelijke interpolatie tussen de meetpunten heeft plaatsgevonden volgens de 'Inverse Distance Weighting' methode. Waarden van bulkdepositie van ammonium varieerden in de tijd, en correspondeerden met regenval (Figuur 24). De depositie viel vaak hoger uit waar vegetatie was (Figuur 25). Dit was te zien in zowel de concentraties van de opgevangen depositie, als de hoeveelheid water. Naast de fysiologische interacties tussen luchtstromen en vegetatie, kunnen chemische interacties tussen vegetatie hier ook een rol in spelen.



Figuur 23 gemiddelde waarden voor bulk $\text{NH}_4\text{-N}$ depositie, voor alle meetmomenten, over ruimte. Ruimtelijke interpolatie is gedaan met 'Inverse Distance Weighting'.



Figuur 24 Bulkdepositie (linker as) in combinatie met regenval (rechter as) als functie van de tijd.



Figuur 25 Bulkdepositie per type terrein.

6 Tot slot

In de periode van november 2022 tot maart 2023 hebben de meetpartners hun meetopstellingen in het gebied geplaatst en zijn de metingen gestart. De activiteitenregistratie, database en dashboard zijn opgezet en 'in de lucht'. Door de medewerking van de mensen in het gebied (activiteitenregistratie) wordt een zo compleet mogelijk beeld opgebouwd. De resultaten van de afzonderlijke meetmethoden zijn nu van een beperkt aantal maanden beschikbaar. Hieruit blijkt onder meer dat er in sommige gevallen een relatie te leggen is tussen activiteiten in het gebied en de concentratiewaarnemingen. Het is echter nog te vroeg om de data van de verschillende partijen te combineren. In de komende periode verzamelen de meetpartners meer data en analyseren die gezamenlijk.

7 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.
- 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., Mosquera, J., Calvet Sanz, S., Zhang, G. (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., Mosquera, J., Hol, J.M.G., 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
- 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