



# Keldermetingen methaan- en ammoniakconcentraties

## Eindrapportage

Erik van Well (CLM), Joost Keuskamp (Biont Research),  
Ine Spijkerman (CLM) en Gert Jan Monteney  
(Monteney Milieu Advies)

# Keldermetingen methaan- en ammoniakconcentraties

## Eindrapportage

**Abstract:** Dit rapport beschrijft de resultaten van keldermetingen op twee melkveebedrijven in de periode mei-december 2020.

**Auteur(s):** Erik van Well (CLM), Joost Keuskamp (Biont Research), Ine Spijkerman (CLM) en Gert-Jan Monteny (Monteny Milieu Advies)

© CLM, publicatienummer 1086, oktober 2021

### CLM Onderzoek en Advies

**Postbus:**

Postbus 62  
4100 AB Culemborg

**Bezoekadres:**

Gutenbergweg 1  
4104 BA Culemborg

T 0345 470 700  
[www.clm.nl](http://www.clm.nl)

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1 Aanleiding voor metingen	6
1.2 Achtergrond	6
1.3 Doelen	8
<b>2 Meetmethoden</b>	<b>9</b>
2.1 Stallen en meetpunten	9
2.2 Mestsamenstelling in de kelders	11
2.3 Metingen in de kelders	11
2.4 Metingen in de stal	12
<b>3 Resultaten</b>	<b>14</b>
3.1 Resultaten per bedrijf	14
3.1.1 Methaan	15
3.1.2 Ammoniak	16
3.2 Mestsamenstelling op bedrijven	16
3.3 Verschil tussen meetpunten	18
3.4 Samenhang met stalmetingen	20
<b>4 Discussie</b>	<b>25</b>
4.1 Representativiteit	25
4.2 Ammoniak: geen verschil tussen bedrijven	25
4.3 Methaanophoping onder dichte vloer	26
4.4 Explosiegevaar	26
4.5 Keldergassen, schuimvorming en luchtdruk	26
4.6 Ontmenging	28
4.7 Het belang van continuummetingen	28
4.8 Concentraties versus fluxen	28
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>30</b>
5.1 Conclusies	30
5.1.1 Concentraties	30
5.1.2 Samenhang kelderconcentraties met stalconcentraties	31
5.2 Aanbevelingen	31
<b>Bijlagen</b>	<b>33</b>
Bijlage 1: Meetapparatuur	34
Bijlage 2: Meetlocaties	36
Bijlage 3: Mestmonsters per locatie	42
Bijlage 4: IJkresultaten NH <sub>3</sub> -monitoren	43
Bijlage 5: Meetresultaten per kanaal	44

# Samenvatting

De Nederlandse overheid heeft in het kader van het VN-Klimaatakkoord van Parijs, doelen opgesteld voor het terugdringen van broeikasgassen. Onderdeel daarvan is terugdringing van de methaanuitstoot uit de veehouderij.

Daarvoor is op korte termijn inzicht in - en toepassing van - snel inpasbare technische maatregelen nodig, die geschikt zijn voor bestaande bedrijven. In dat kader vinden sinds 2018 metingen plaats van stalconcentraties en -emissies van methaan en ammoniak, op 18 melkveebedrijven in Nederland.

Naar aanleiding van een methaanexplosie in een melkveestal in Markelo, is meer aandacht gekomen voor een andere kant van de methaanproblematiek: gasophoping in de mestkelder. Dat onderdeel raakt zowel de veiligheid voor mens en dier, als mogelijk ook de emissie van stalgassen naar de omgeving.

Over ophoping van stalgassen onder de vloer is tot op heden weinig bekend. Aandacht voor reductie van ammoniakemissie leidt tot meer dichte vloersystemen. Dat reduceert weliswaar de emissie van ammoniak, maar de vraag rijst of het tegelijk ook tot mogelijk problematische ophoping van methaan onder de stalvloer zou kunnen zorgen. Daarom zijn op twee van de 18 bedrijven waar in de stal gemeten wordt, de metingen uitgebreid met keldermetingen. In dit onderzoek worden de concentraties van ammoniak en methaan in de kelder van deze twee melkveestallen, met verschillende vloertypen, door metingen in beeld gebracht. De resultaten betreffen de metingen in de periode van begin mei tot eind december 2020.

## Metingen

In het project zijn metingen uitgevoerd in twee melkveestallen. Onder de vloer van beide stallen is op 8 plaatsen een meetpunt aangebracht, van waaruit lucht wordt aangezogen naar een methaan- en een ammoniakanalyser. Bij alle meetpunten vindt om de twee uur, gedurende 15 minuten, elke minuut een meting plaats.

Naast het meten van de keldergasconcentraties is elke 14 dagen de kwaliteit van de mest bepaald op basis van twee mestmonsters: één van de top laag en één van de bulk, op beide bedrijven.

## Concentraties

Op beide gemeten bedrijven hebben we redelijk vergelijkbare ammoniakconcentraties in de kelders gevonden. Op het bedrijf met een traditionele roostervloer (bedrijf 1) bedroeg de gemiddelde concentratie boven de mestlaag in de kelder 20 parts per million (ppm), op het bedrijf met een emissiearme vloer (bedrijf 2) was dit 16 ppm. De pieken verschilden tussen de bedrijven; op het bedrijf met de emissiearme vloer was de hoogst gemeten concentratie 352 ppm, tegenover 752 ppm op het bedrijf met de traditionele roostervloer.

Het niveau van - en variatie in - de methaanconcentraties verschilden veel sterker tussen beide bedrijven. Lag de gemiddelde concentratie op het bedrijf met een traditionele roostervloer op 36 ppm, op het bedrijf met een emissiearme vloer bedroeg dit 1.640 ppm. De maxima daarentegen lagen qua niveau dicht bij elkaar met respectievelijk 14.793 ppm en 24.200 ppm, dat laatste is net boven de maximale meetwaarde.

De resultaten van dit onderzoek vormen een eerste indicatie van de niveaus van gasconcentraties in kelders op melkveebedrijven. In dit onderzoek doen we geen uitspraken over verschillen tussen bedrijven met een emissiearme vloer en bedrijven met een traditionele roostervloer. Op basis van één bedrijf van elk type kunnen we geen conclusies trekken over deze groepen in het algemeen, omdat de bedrijven op meer factoren van elkaar verschillen dan enkel de stalvloer.

Met maxima van 14.793 en net boven 24.200 ppm, is op geen van beide bedrijven een explosieve methaanconcentratie gemeten. De ondergrens voor een explosief methaanmengsel, de zogenaamde Lower explosion level (LEL), bedraagt namelijk 44.000 ppm. Wel zijn er grote pieken tijdens het mestmengen, waarbij concentraties binnen 30 minuten oplopen van minder dan 1.000 ppm tot boven de 20.000 ppm; daarna dalen de concentraties weer even snel. Gezien de grote verschillen in concentraties tussen meetpunten op de bedrijven, is het denkbaar dat er stallen zijn met plekken waar de concentraties met name tijdens het mengen (kortdurend) kunnen oplopen tot op of boven de LEL.

### **Samenhang met stalconcentraties**

De verhouding tussen kelderconcentraties en stalluchtconcentraties verschillen sterk tussen de beide bedrijven; met name voor methaan. Op bedrijf 2 is het niveau van de stalluchtconcentraties bijna 40 keer lager dan dat van de kelderluchtconcentraties. Op bedrijf 1 is dit verschil maar ruim 2,5 keer. Toch liggen de absolute waarden van de stalluchtconcentraties in bedrijf 2 nog drie keer zo hoog als in bedrijf 1.

Voor ammoniak liggen de waarden in de kelder op respectievelijk 20 en 16 ppm, terwijl dat op beide bedrijven op stalniveau 1 ppm bedraagt. De verschillen tussen de absolute waarden in de stallen worden medebepaald door het ventilatiedebiet.

Hogere kelderconcentraties zijn overigens niet direct terug te zien in stalconcentraties. De stal heeft een veel grotere inhoud dan de kelder en de concentraties in de stal fluctueren veel sterker dan in de kelder, als gevolg van veranderende ventilatie. Bij opvolging van het advies om de stal maximaal te ventileren bij het mengen, zal op stalniveau niet of nauwelijks een verhoogde concentratie gassen te meten zijn.

Het ligt dus niet voor de hand om te veronderstellen dat optredende concentratiepieken in de kelder kunnen worden gedetecteerd door metingen te doen in de stal.

Wel lijkt er een verband te zijn tussen de CO<sub>2</sub>- en de CH<sub>4</sub>-concentraties in de kelder. Deze verhoudingen lijken echter per bedrijf te verschillen.

### **Aanbevelingen**

De resultaten van dit onderzoek bieden een eerste inzicht in de hoogte van methaan- en ammoniakconcentraties in twee melkveestallen.

Aanvullend onderzoek is nodig om meer te weten te komen over de effecten van diverse variabelen en om goed in te kunnen inschatten wat de reductiepotentie is. Daarbij moet de nadruk liggen op factoren die methaanemissie uit mest beïnvloeden, ofwel de factoren die de afbraak van organische stof door micro-organismen beïnvloeden. Het gaat daarbij om temperatuur, retentietijd, entmateriaal, zuurgraad (pH), beschikbaarheid van zuurstof en natuurlijk de kwaliteit van de af te breken organische stof. Een soortgelijk onderzoek zou onder geconditioneerde omstandigheden moeten plaatsvinden; daarvoor zijn praktijkstallen minder geschikt.

Daarnaast geeft een verdere uitbreiding van het onderzoek, met opschaling van het aantal bedrijven waar gemeten wordt, een beter algemeen beeld van problemen en risico's.

Schuimvorming op de mest is een bekend (en toenemend?) probleem. Over de aanpak en bestrijding ervan is nog nauwelijks iets bekend, terwijl mestschuim tijdens het mengen een groot risico oplevert. Om die reden is aanvullend onderzoek naar de vorming en bestrijding van mestschuim wenselijk; naast onderzoek naar methaanvorming in de kelder en het vrijkomen van in de mestkolom opgesloten methaan.

Door op het bedrijf de juiste maatregelen te treffen qua management, lijkt het voorsnog mogelijk de grootste risico's aanzienlijk te reduceren. Daarom bevelen we aan om een concreet stappenplan op te stellen, om veehouders handvatten te bieden om zowel schuimvorming op de mest, als het ontstaan van hoge methaanconcentraties, in de toekomst te voorkomen.

# 1

## Inleiding

### 1.1

#### Aanleiding voor metingen

De Nederlandse overheid heeft in het kader van het VN-Klimaatakkoord van Parijs, doelen opgesteld voor het terugdringen van broeikasgassen. Onderdeel daarvan is terugdringing van de methaanuitstoot uit de veehouderij.

Daarvoor is op korte termijn inzicht in - en toepassing van - snel inpasbare technische maatregelen nodig, die geschikt zijn voor bestaande bedrijfsinrichtingen. Voor de langere termijn zijn fundamentele aanpassingen van productiesystemen noodzakelijk. Het vaststellen van de impact van emissiereducerende maatregelen vereist een integrale beoordeling, waarmee we bedoelen dat naast het effect op methaanemissie, ook andere aspecten moeten worden meegenomen, waaronder ongewenste emissies (met name ammoniak, maar ook H<sub>2</sub>S en geur en fijnstof bij intensieve veehouderij), inpasbaarheid en adoptie op bedrijven, het perspectief op economische haalbaarheid, en dierenwelzijn.

Naar aanleiding van een methaanexplosie in een melkveestal met een emissiearme vloer in Markelo<sup>1</sup> is meer aandacht gekomen voor gasophoping in de mestkelder. Dat onderdeel raakt zowel de veiligheid voor mens en dier, als de emissie van stalgassen naar de omgeving. Over ophoping van stalgassen onder de vloer is tot op heden weinig bekend, behoudens oriënterende metingen in het kader van een netwerkproject 'Laat de gassen je niet verrassen' (2012; DLV, in samenwerking met Monteny Milieu Advies). Aandacht voor reductie van ammoniakemissie leidt tot meer dichte vloersystemen. Dat reduceert weliswaar de emissie van ammoniak, maar zou aan de andere kant mogelijk tot een verdere ophoping van methaan onder de stalvloer kunnen zorgen. In dit onderzoek worden de concentraties van ammoniak en methaan in de kelders van 2 melkveestallen, met verschillende vloertypen, door gedetailleerde metingen, zowel in de ruimte als in de tijd in beeld gebracht.

### 1.2

#### Achtergrond

Van eind 2018 tot eind 2020 werden de stalemissies van methaan en ammoniak op een aantal veehouderijbedrijven simultaan gemeten. De metingen uit dat project moeten duidelijkheid geven over de emissies op stalniveau. Ondertussen werden ook de emissies vanuit de koe gemeten, om

---

<sup>1</sup> [Familie in rouw na drama in stal: dertien koeien komen om in eigen mest na explosie. AD, 24 februari 2019.](#)

beter zicht te krijgen op het emissiedeel dat vrijkomt vanuit de mestkelder/-vloer en welk deel vanuit de pens van de koe.

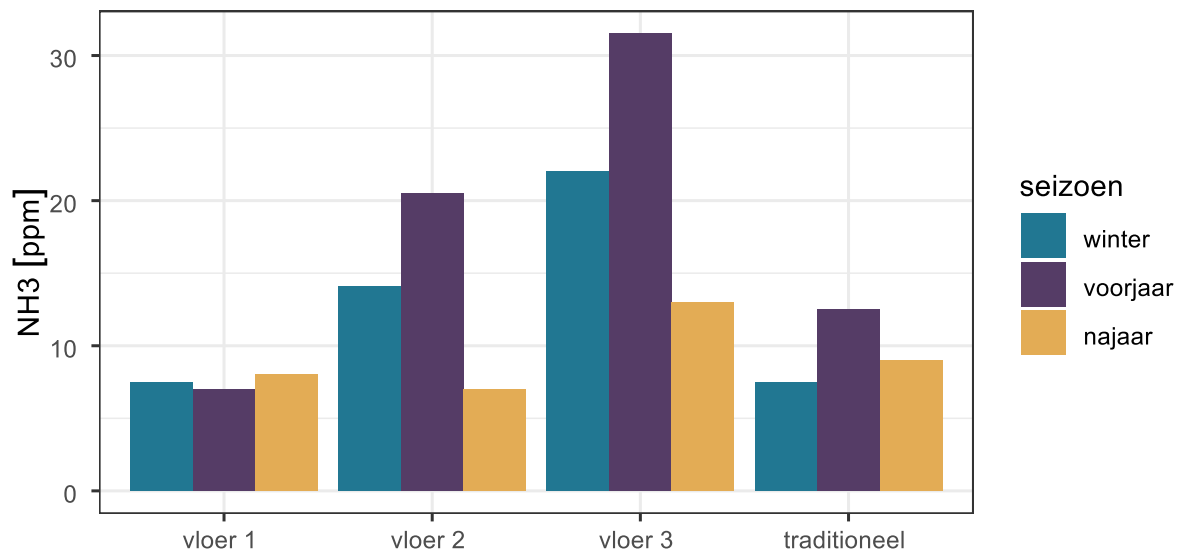
De relatie tussen de gasconcentraties in de kelder en in de stal zijn sterk afhankelijk van de samenstelling van de mest (om precies te zijn de toplaag voor ammoniak en de bulk voor methaan), de 'vrije ruimte' boven de mest en de onderzijde van de vloer, het type vloer, de luchtuitwisseling tussen onderliggende vrije ruimte en de stal, en de condities in de stal (bijvoorbeeld het temperatuurverschil tussen binnen en buiten en de stalventilatie). Een belangrijk verschil is dat ammoniak oplosbaar is in de mest en methaan niet.

Figuur 1 hieronder geeft een overzicht van oriënterende metingen van ammoniakconcentratie, in kelders van steeds vier melkveestallen met verschillende typen vloeren, rond 2014 uitgevoerd door Monteny Milieu Advies in samenwerking met DLV, in het kader van een netwerkproject rond keldergassen.

De ammoniakconcentratie in kelders van stallen met emissiearme roosters (zonder flap/klep) is nagenoeg gelijk aan die in kelders van stallen met traditionele betonnen roosters. Pas bij emissiearme 'plaatvloeren' met klep/flap, worden aanzienlijk hogere ammoniakconcentraties waargenomen. De oorzaak hiervan is vooral de verminderde luchtuitwisseling tussen kelder en stal, waarbij in het voorjaar ook de relatief grote mesthoogte (vlak voor uitrijden in het voorjaar) zorgt voor weinig luchtuitwisseling en een hogere ammoniakconcentratie boven de mestlaag.

In vergelijking met ammoniakconcentraties in de stal zorgen goed geventileerde putten (zie traditioneel en vloer 1 in Figuur 1) voor een circa 4 x zo hoge ammoniakconcentratie in de put (gemiddeld circa 8 ppm in de onderzochte kelders) ten opzichte van de stal (gemiddeld circa 2 ppm). Dit klopt redelijk goed met de uitkomsten van het rekenmodel van Monteny (2000), waarin wordt aangenomen dat de luchtsnelheid in de stal (een maat voor de luchtuitwisseling/ventilatie) gemiddeld een factor 3 hoger is dan gemiddeld in de put.

Voor methaan gelden vergelijkbare verhoudingen, zij het dat de concentraties aanzienlijk hoger zijn dan voor ammoniak, als gevolg van een grotere 'bronsterkte' van methaan, ten opzichte van ammoniak.



Figuur 1: Ammoniakconcentratie (in ppm) in de lucht van mestkelders in stallen met traditionele betonnen roosters en 3 verschillende typen emissiearme vloeren (per vloertype zijn 4 stallen gemeten). Vloer 1 = emissiearme roostervloer, Vloer 2 en 3 zijn emissiearme 'plaatvloeren' met regelmatige mestafstort (zoals in 1 van de beoogde stallen aanwezig) (Monteny, niet gepubliceerd).



### **1.3 Doelen**

In dit rapport beschrijven we de resultaten die we op basis van de doelen van het project hebben onderzocht. Deze doelen zijn:

1. Het in beeld brengen van vorming en concentraties van keldergassen methaan en ammoniak in twee melkveestallen met verschillende vloertypen.
2. Het in beeld brengen van de relatie tussen de concentraties van keldergassen methaan en ammoniak, en de gemiddelde stalluchtconcentratie van deze gassen.
3. Vaststellen van het effect van bedrijfsmanagement en enkele snel inpasbare technische maatregelen op de methaan- en ammoniakconcentratie in de mestkelder.

# 2

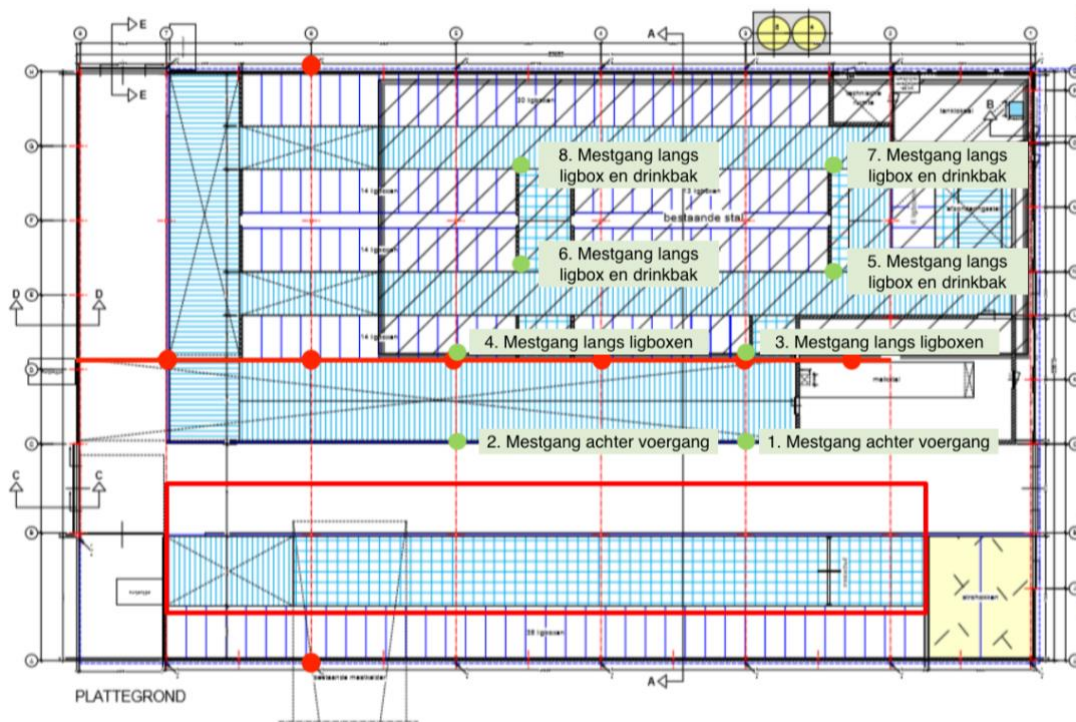
## Meetmethoden

We meten de methaan-, ammoniak en koolstofdioxide concentraties in de mestkelders en stallen van twee melkveehouders. Melkveehouder 1 heeft een stal met een traditionele roostervloer. Melkveehouder 2 heeft een stal met een emissiearme vloer (1,2 meter brede betonplaten, met regelmatige mestafstort, waarin flappen zijn aangebracht). Deze metingen geven een eerste indicatie van de verwachte concentraties methaan en ammoniak in een mestkelder van een melkveestal met een roostervloer en een melkveestal met een emissiearme vloer; zonder daarbij de suggestie te wekken dat deze concentraties representatief zijn voor deze stalcategorieën. We laten daarbij ook zien hoe de gasconcentraties van methaan en ammoniak in de stal zich verhouden tot de concentraties in de mestkelder. Daarnaast geven de metingen een beeld van de concentraties tijdens het mestmengen. Ook nemen we regelmatig mestmonsters om een indruk van de mestsamenstelling te krijgen en om mogelijke relaties met de gemeten keldergasconcentraties te kunnen duiden.

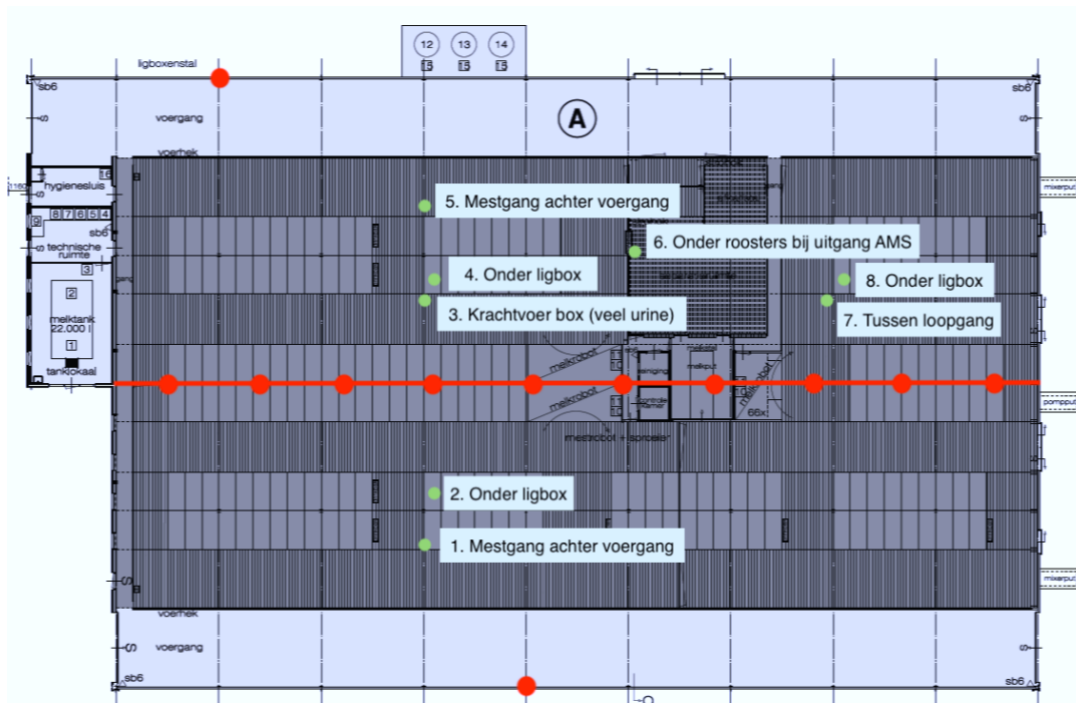
### 2.1 Stallen en meetpunten

We bepalen de opzet van de keldermetingen in overleg met de betreffende melkveehouders en op basis van de eerder opgedane ervaring met methaan- en ammoniakmetingen in stallen. We kiezen voor 8 verschillende meetlocaties in de kelder van de stal: voor, midden en achter in de kelder in de stal, omdat we verschillende waarden verwachten op deze locaties. De gassen kunnen namelijk naar achteren gestuwd worden, door bijvoorbeeld een luchtinlaat vanuit een open staldeur aan de voorzijde en vice versa. Eventuele afwijkende concentraties bij de mestafstort zullen ook duidelijk worden door deze verschillende meetlocaties. Verder verwachten we dat koeien relatief meer mest en urine uitscheiden bij de melkrobot en het voerstation; daarom meten we ook de concentraties in de kelder daaronder.

Figuren 2.1 en 2.2 op de volgende pagina geven weer waar de meetpunten in de kelder zich bevinden bij beide bedrijven, evenals de meetpunten van de concentraties in de stal. Op beide bedrijven bevinden zich 2 mestputten in de stal (zie bijlage 2 voor meer informatie over beide melkveebedrijven).



Figuur 2.1 Plattegrond van stal 1, met traditionele roostervloer: locaties van meetpunten in de kelder (groen) en in de stal onder de nok (rood). De buitenste 2 rode meetlocaties zijn meetpunten buiten de stal. In deze stal bevinden zich twee mestputten. Meetpunten 1 t/m 4 (groen) hangen in mestkelder 1 meetpunten 5 t/m 8 (groen) in mestkelder 2.



Figuur 2.2. Plattegrond van stal 2, met emissiearme vloer: locaties van meetpunten in de kelder (groen) en in de stal onder de nok (rood). De buitenste 2 meetlocaties zijn meetpunten buiten de stal (rood). In deze stal bevinden zich twee mestputten. Meetpunten 1 t/m 2 (groen) hangen in mestkelder 1, meetpunten 3 t/m 8 (groen) in mestkelder 2. Op deze locatie zijn nieuw- en oudmelkte koeien gescheiden: de nieuwmelkte koeien staan bij meetpunten 3 t/m 6 (groen), de oudmelkte koeien bij meetpunten 1, 2, 7,8 (groen).

## 2.2 Mestsamenstelling in de kelders

Een deel van de verschillen in keldergasconcentraties is mogelijk het gevolg van verschillen in mestsamenstelling (in relatie tot rantsoen). Voor ammoniak is daarbij met name de toplaag van belang; voor methaan is de samenstelling van de bulk belangrijker. Om deze mogelijke verbanden beter in beeld te krijgen, zijn tijdens de metingen regelmatig mestmonsters genomen van de toplaag en de bulk, voor analyse op de belangrijkste gehalten (stikstoftotaal, mineraal-stikstof, zuurgraad (pH), droge en organische stof) op of rond de plaatsen waar ook de monsternamen ten behoeve van gasconcentraties plaatsvindt.

Tijdens oriënterende metingen in het kader van een project van Monteny Milieu Advies, in samenwerking met DLV (zie paragraaf 1.2) bleek onder andere dat bij de melkstal relatief hoge methaanconcentraties in de kelder kunnen optreden, door het in de kelder laten lopen van spoelwater met melkresten, evenals door voerresten in de kelder, onder de vloer aan het voerhek (Monteny, persoonlijke mededelingen). Melk- en voerresten zijn namelijk organisch materiaal en kunnen een plaatselijke bron van methaan zijn). In dit project kiezen we daarom voor een vaste tweewekelijkse meting, van zowel de toplaag als de bulk en een aantal extra metingen in specifieke omstandigheden, bijvoorbeeld rond het mestmengen.

## 2.3 Metingen in de kelders

Op ieder bedrijf doen we continu-metingen van de gasconcentraties van ammoniak en methaan in de mestkelders, met één methaanalyzer en één ammoniakalyzer van FarmGasLive (zie bijlage 1 voor meer informatie over de meetapparatuur). Elk meetpunt heeft een eigen monsternamenleiding. De acht meetpunten bevinden zich boven in de kelder, zodat alleen de gassen worden aangezogen en de filters/leidingen niet verstopt raken door mest uit de kelder. Tauw BV uit Deventer realiseerde de monsternamen-systemen. In Figuur 3 zijn meetleidingen en de analyseapparatuur weergegeven. We vroegen de melkveehouders om ons te waarschuwen wanneer de mestkelder vol dreigde te raken, zodat we de leidingen uit de mestkelder konden halen, voordat het meetsysteem mest gaat opzuigen.



Figuur 3: De linker en de middelste foto laten zien hoe de meetleidingen onder de vloer gaan. De foto rechts is een voorbeeld van de apparatuur, die buiten in een geïsoleerde kast staat.

We gebruiken een multi-channel-selector om alle meetpunten te kunnen bemeten, deze is verbonden met de methaan- en ammoniakanalyser. De multi-channel-selector selecteert elke 15 minuten een nieuw meetpunt, zodat na 2 uur (8 x 15 minuten) een meetronde is afgerond en een nieuwe meetronde kan starten. Elk meetpunt wordt dus 12 x per dag een kwartier lang gemeten. We verwachten dat dit onder normale omstandigheden voldoende is om fluctuaties in de tijd in beeld te brengen en ruimtelijke en temporele verschillen tussen de meetpunten helder te krijgen. Een uitzondering hierop is het mixen van mest: tijdens het mixen kan de concentratie van met name methaan in korte tijd sterk oplopen. Omdat wordt gemeten in meerdere kelders, is de melkveehouders gevraagd het tijdstip van mixen af te stemmen op de meetcyclus. Op deze manier brengen we de eventueel optredende concentratiepieken door het mixen zo goed mogelijk in beeld.

## 2.4 Metingen in de stal

In beide stallen meten we naast de kelderlucht ook de stallucht. Met meetapparatuur van FarmGasLive worden methaan-, ammoniak- en koolstofdioxideconcentraties aan de hand van nauwkeurige continu-metingen vastgelegd. We meten de concentraties zowel in de stal als erbuiten, aan weerszijden van de stal en de CO<sub>2</sub>-concentraties - om het ventilatiedebiet te bepalen - volgens de CO<sub>2</sub>-massabalansmethode. De gegevens gebruiken we voor de berekening van de methaan- en ammoniakemissies.

Binnen in de stal gebruiken we een monstername-leiding, die van voor naar achter door de stal loopt. Deze hangt zowel qua hoogte als breedte ongeveer halverwege de stal. Op deze manier meten we een gemengde stallucht. Aan de monstername-leiding zijn elke 7 tot 8 meter luchtinlaatpunten aangesloten, waardoor 300 ml lucht per minuut wordt aangezogen, via een stoffilter (zie figuur 4 hieronder en de rode meetpunten in de figuren 2.1 en 2.2 hiervoor). Door het aanzuigen van lucht uit verschillende inlaatpunten, ontstaat een mengmonster van goed gemengde lucht, die over de volledige lengte van de stal is aangezogen. Dit verschilt dus van de metingen in de mestkelders, waar we geen mengmonsters nemen, maar waar een monster van elk meetpunt afzonderlijk gemeten wordt.



Figuur 4: De rechter en linker foto laten een voorbeeld van de monstername-leiding in de stal zien. De middelste foto laat een voorbeeld van een buitenmeetpunt zien.

De aangezogen stallucht wordt naar een buffervat geleid. Dit buffervat staat, evenals de methaan- en ammoniakanalyzers, in een schone ruimte, zoals een tanklokaal of kantoor. Beide analyzers nemen elke minuut een monster van 30-60 ml uit het buffervat, met behulp van een interne pomp. De methaanalyzer bepaalt uit dit monster zowel de methaan als de koolstofdioxideconcentratie, de ammoniakalyzer bepaalt zowel de ammoniak- als de koolstofdioxideconcentratie.

## 3

## Resultaten

In dit hoofdstuk beschrijven we de meetresultaten en beschrijven we wat eventuele relaties zijn met andere variabelen op het bedrijf. We beschrijven de resultaten van de tweewekelijkse mestmonsteranalyses en leggen een link met de stalmetingen.

### 3.1 Resultaten per bedrijf

Op beide bedrijven verschillen de concentraties van ammoniak, maar met name van methaan, vooral sterk in de tijd, waarbij voor methaan grote pieken optreden en de concentratie oploopt tot tientallen keren het gemiddelde of meer. Anders dan ammoniak verschilt de methaanconcentratie sterk tussen bedrijven: zowel het gemiddelde als de mediaan ligt op bedrijf 2 meer dan 40 keer zo hoog als op bedrijf 1 (zie tabel 3.1 hieronder en tabel 3.2 op de volgende pagina).

Dit was bij aanvang van de metingen reden om direct een extra analysercheck uit te voeren, door gedurende enkele dagen een extra analyser te plaatsen, achtereenvolgens op de beide bedrijven. Deze controlemeting bevestigde het grote verschil tussen de bedrijven.

Tabel 3.1 Overzicht gemeten dagwaarden keldergassen op bedrijf 1 (betonnen roosters).  
De getoonde waarden zijn berekend over waarnemingen op acht meetpunten op het bedrijf, over de periode 6 mei 2020 tot 8 januari 2021.

	Gemiddelde concentratie (ppm)	Gemiddelde mediaan (ppm)	Maximum concentratie (ppm)
<b>Methaan</b>	36	29	14.793 <sup>2</sup>
<b>Ammoniak</b>	20	19	752 <sup>3</sup>
<b>Koolstofdioxide</b>	634	617	>2.350 <sup>4</sup>

<sup>2</sup> ± 23000 ppm is het meetmaximum van de CH<sub>4</sub>-metingen.

<sup>3</sup> ± 4600 ppm is het meetmaximum van de NH<sub>4</sub>-metingen.

<sup>4</sup> ± 2350 ppm is het meetmaximum van de CO<sub>2</sub>-sensor. Door ruis worden soms hogere waarden weergegeven.

Tabel 3.2 Gemiddelde waarden gemeten keldergassen op bedrijf 2 (emissiearme plaatvloer).

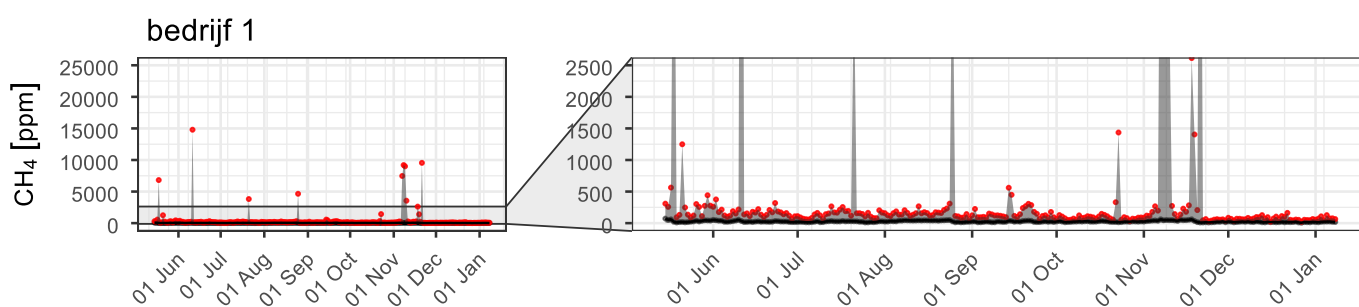
De getoonde waarden zijn berekend over waarnemingen op acht meetpunten op het bedrijf, over de periode 6 mei 2020 tot 8 december 2020 voor methaan en over de periode 6 mei 2020 tot 8 januari 2021 voor ammoniak.

	Gemiddelde concentratie (ppm)	Gemiddelde mediaan (ppm)	Maximum concentratie (ppm)
<b>Methaan</b>	1.640	1.454	>24.200 <sup>5</sup>
<b>Ammoniak</b>	16	16	352 <sup>6</sup>
<b>Koolstofdioxide</b>	1.814	1.807	>2.350 <sup>7</sup>

### 3.1.1

#### Methaan

Naast de gemiddelde dagwaarden, of het gemiddelde van de dagmedianen van de gasconcentraties in de kelder, is met name ook de vraag relevant hoe de concentraties zich door het jaar heen gedragen en of fluctuaties te zien zijn in de tijd. In onderstaande figuur 5A en figuur 5B op de volgende pagina, geven we de reikwijdte van gemeten waarden voor methaan in de tijd weer (grijze vlak). De zwarte lijn is de mediaan van de 8 meetpunten in de kelder. De rode punten geven de maximaal gemeten waarden weer.



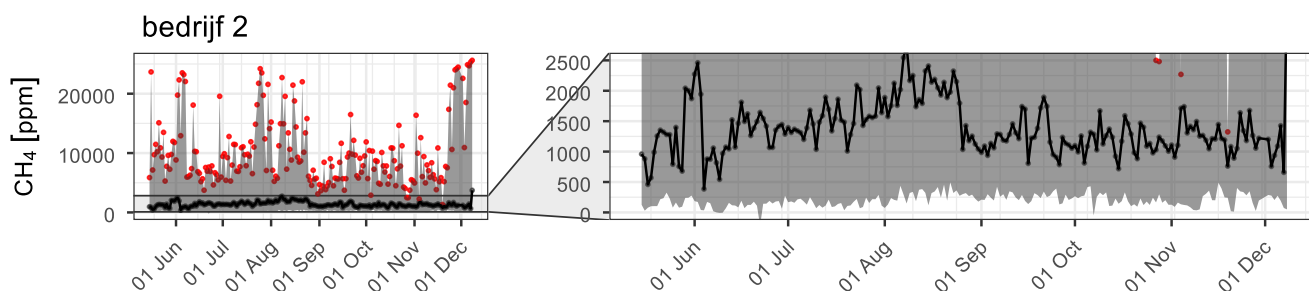
Figuur 5A: Methaanconcentraties in de kelder van bedrijf 1 met zoom-in op het lagere concentratiegebied. Het grijze vlak geeft de gemeten range per dag weer, de zwarte lijn mediane concentraties over alle meetpunten op het bedrijf en de rode punten de dagmaxima.

<sup>5</sup> ± 24200 ppm is het meetmaximum van de CH<sub>4</sub>-metingen. Door ruis worden soms hogere waarden weergegeven.

<sup>6</sup> ± 9000ppm is het meetmaximum van de NH<sub>3</sub>-metingen.

<sup>7</sup> ± 2350 ppm is het meetmaximum van de CO<sub>2</sub>-sensor. Door ruis worden soms hogere waarden weergegeven.





Figuur 5B: Methaanconcentraties in de kelder van bedrijf 2 met zoom-in op het lagere concentratiegebied. Het grijze vlak geeft de gemeten range per dag weer, de zwarte lijn mediane concentraties over alle meetpunten op het bedrijf en de rode punten de dagmaxima.

Voor methaan zijn verloop en niveau sterk verschillend tussen beide bedrijven. Naast een groot verschil tussen de bedrijven, is een sterke fluctuatie van de concentraties in de tijd te zien en verschillen zowel het niveau als de uitschieters tussen de bedrijven sterk. Op bedrijf 1 ligt de mediaan op 29 ppm, met als maximale uitschieter 14.793 ppm methaan. We zien hier maar vier extreme uitschieters en enkele wat minder extreme pieken. De extreme uitschieters zijn alle te herleiden tot mestmixen.

Op bedrijf 2 zijn zowel het niveau als de variantie veel groter dan op bedrijf 1. Ook treden vaker pieken op, die ook hoger zijn dan op bedrijf 1. De mediaan ligt hier op 1.454 ppm, de hoogste pieken liggen rond de 24.000 ppm, met als maximale uitschieter een waarde boven het meetmaximum van 24.200 ppm. Zeer kortdurend (enkele seconden) zijn hier waarden boven de 24.200 ppm gemeten. Daarbij kan de concentratie dus nog iets hoger zijn opgelopen. Gezien de omliggende waardes rondom deze piek, wordt het niet waarschijnlijk geacht dat de piek nog heel veel hoger heeft gelegen. Deze zijn niet alle te herleiden tot mestmixen.

### 3.1.2

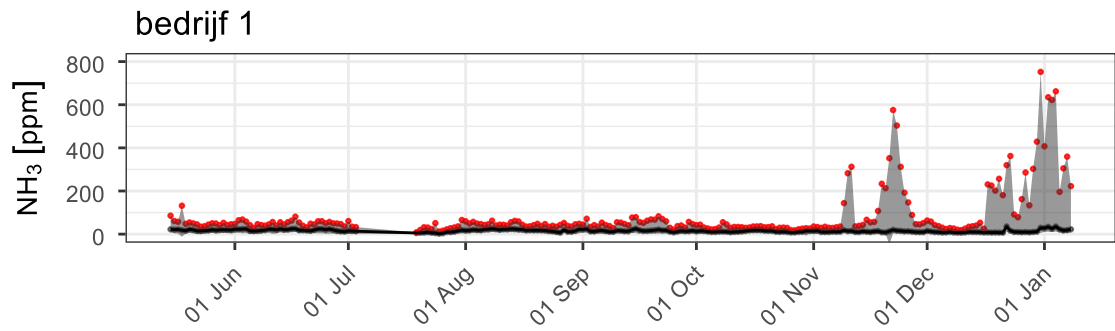
#### Ammoniak

Het verloop en het niveau van de ammoniakconcentratie zijn in beide kelders vergelijkbaar. De mediaan (zie Tabellen 3.1 en 3.2 hiervoor) komt uit op 19 en 16 ppm voor respectievelijk bedrijf 1 (traditionele roostervloer) en bedrijf 2 (emissiearme plaatvloer met regelmatige mestafstort met flappen). Er zijn maar enkele forse pieken te zien, die we voorsnog niet hebben kunnen terugleiden tot een specifieke situatie of activiteit op de bedrijven, zie de figuren 6A en B op de volgende pagina.

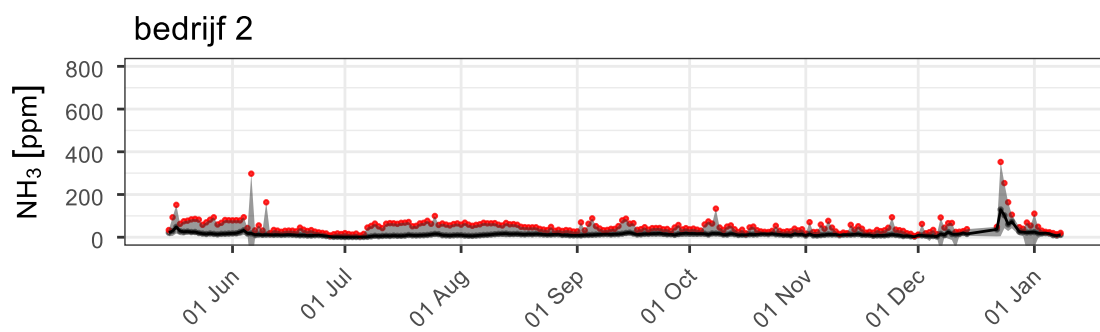
## 3.2

### Mestsamenstelling op bedrijven

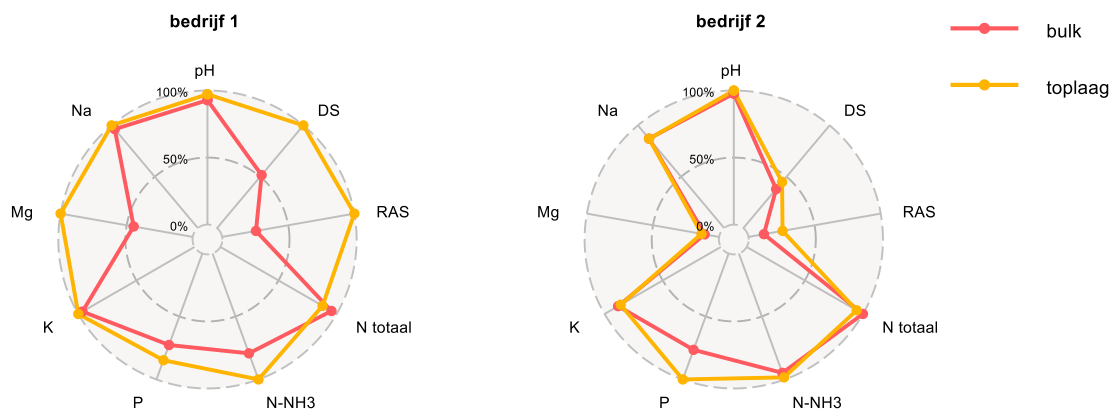
De totale hoogte van de mestkolom is met gemiddeld 59 cm op bedrijf 1 flink lager dan op bedrijf 2 waar de mest gemiddeld 112 cm hoog staat (zie tabel 4 op pagina 18). De samenstelling van de mest is in de toplaag redelijk uniform, terwijl in de bulk grotere verschillen te zien zijn (zie ook figuur 7 op de volgende pagina). Dit verschil wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de bulk op bedrijf 1 rijk is aan droge stof (DS), ruwe as (RAS) en in mindere mate magnesium (Mg). Mogelijk is dit een gevolg van het naar beneden zakken van vaste deeltjes, doordat de mest ontmengd raakt. Nadere analyse laat zien dat het verschil in samenstelling tussen toplaag en bulk over het algemeen toeneemt, naarmate meer tijd verstrijkt tussen mixmomenten. De schijnbaar sterkere ontmenging op bedrijf 1 is waarschijnlijk een gevolg van de gekozen meetdiepte: door de lagere mesthoogte is het bulksample daar dichterbij de onderkant van de kolom genomen dan op bedrijf 2.



Figuur 6A: Ammoniakconcentraties in de kelder van bedrijf 1<sup>8</sup>.  
Het grijze vlak geeft de gemeten range per dag weer, de zwarte lijn mediane concentraties over alle meetpunten op het bedrijf en de rode punten de dagmaxima.



Figuur 6B: Ammoniakconcentraties in de kelder van bedrijf 2.  
Het grijze vlak geeft de gemeten range per dag weer, de zwarte lijn mediane concentraties over alle meetpunten op het bedrijf en de rode punten de dagmaxima.



Figuur 7: Relatieve mestsamenstelling per laag op de bedrijven 1 en 2.  
100% is het maximaal gemeten gemiddelde over beide bedrijven.

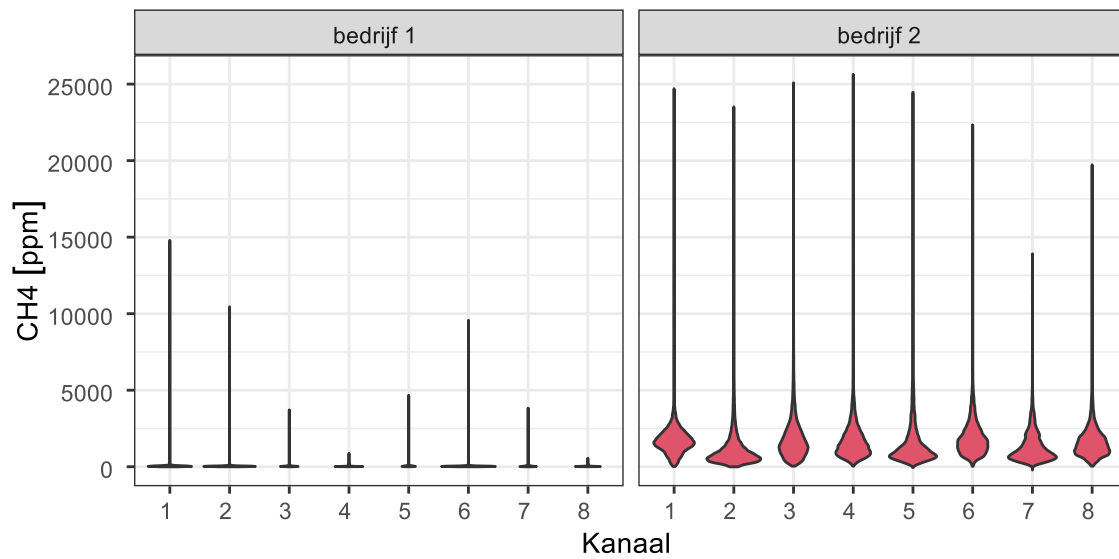
<sup>8</sup> Op bedrijf 1 zien we in juli gedurende  $\pm 2$  weken een nulwaarde voor ammoniak in de kelder. Waarschijnlijk betreft dit een storing in de meetcel van de analyser.

Tabel 4: Mestsamenstelling van toplaag (bovenste 20 cm) en bulk (onderste 20 cm) op bedrijf 1 en bedrijf 2 op basis van tweewekelijkse metingen in de periode mei-december 2020. Voor de locaties 1 en 2 zijn de mestlagen respectievelijk 15 en 16 keer bemonsterd in de betreffende periode. De weergegeven hoogte is gemeten van de top van de mestkolom tot aan de keldervloer. De kelders zijn totaal respectievelijk 140 cm en 225 cm diep.

			hoogte	pH	DS	RAS	N-tot	N-NH3	P	K	Mg	Na
			(cm)		(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
<b>bedrijf 1</b>	toplaag	gemiddeld	59,0	6,9	117,1	37,5	3,96	1,2	0,6	4,4	3,5	0,7
		minimaal	10	6,6	74	26	3,34	0,7	0,38	2,7	1,6	0,8
		maximaal	75	7,2	156	61	4,57	1,7	0,72	5,9	6,4	0,4
		standaardafwijking		0,2	21,0	9,2	0,34	0,3	0,1	0,8	1,0	0,1
	bulk	gemiddeld		7,3	226,7	150,1	3,76	1,6	0,7	4,8	7,8	0,7
		minimaal		7	66	21	3,41	1,2	0,38	3,7	1,1	0,6
		maximaal		7,4	394	296	4,43	2	0,99	5,6	15	0,9
		standaardafwijking		0,1	86,9	78,7	0,26	0,2	0,2	0,5	3,9	0,1
<b>bedrijf 2</b>	toplaag	gemiddeld	112	7,3	90,3	19,1	4,14	1,5	0,6	4,0	0,9	0,6
		minimaal	75	7	66	17	3,57	1,2	0,54	3,2	0,8	0,5
		maximaal	145	7,5	126	23	4,59	1,9	0,72	4,8	1,1	0,7
		standaardafwijking		0,2	16,3	1,5	0,29	0,2	0,0	0,5	0,1	0,1
	bulk	gemiddeld		7,4	102,6	39,1	3,92	1,6	0,8	4,0	1,1	0,6
		minimaal		7,3	71,0	19,0	3,32	1,2	0,6	3,3	0,9	0,5
		maximaal		7,6	204,0	114,0	4,29	2,0	1,1	4,5	1,5	0,7
		standaardafwijking		0,1	35,4	25,5	0,25	0,2	0,1	0,4	0,2	0,0

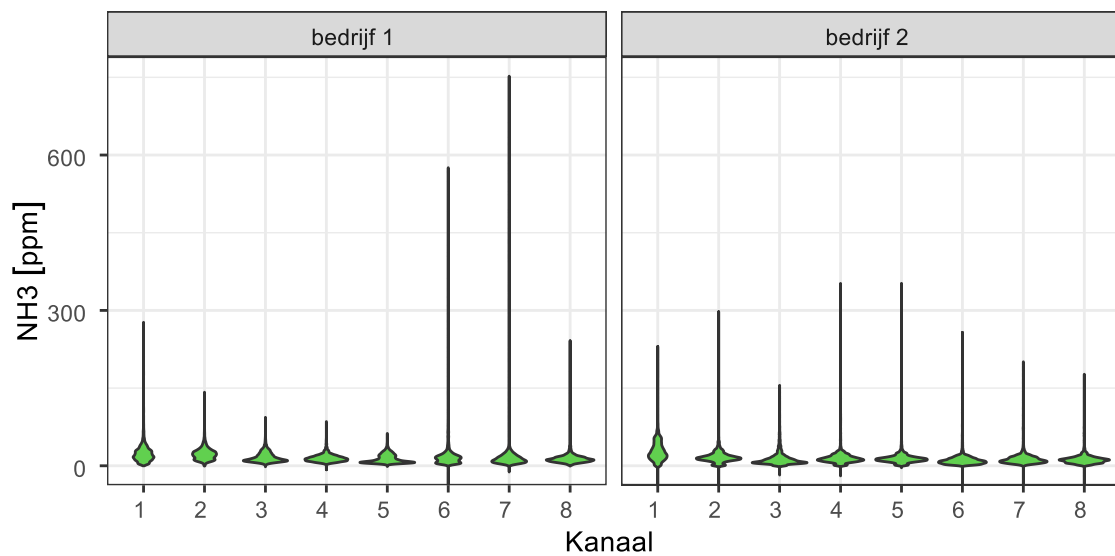
### 3.3 Verskil tussen meetpunten

Op elk van de twee bedrijven zijn metingen uitgevoerd op 8 meetpunten. Daarbij zijn grote verschillen te zien. Zowel de mediaan als het aantal en de hoogte van uitschieters zijn verschillend. In de figuren 8 en 9 op de volgende pagina, is te zien hoe vaak waarden in een bepaalde range voorkomen per meetpunt. Daarmee is zowel de range binnen een meetpunt als de verdeling tussen de meetpunten te zien.



Figuur 8: Methaanconcentraties, ranges per meetpunt.  
De breedte van de lijn geeft de frequentie aan waarmee de waarde voorkomt.

De meetpunten op bedrijf 1 in Figuur 8 hierboven, laten zien dat het overgrote deel van de metingen heel laag is. Het feit dat de alle meetpunten bovenaan een smalle lijn vormen, wil zeggen dat de hoge waarden puntwaarnemingen zijn en geen langdurig hoge concentraties. Opvallend is dat de meetpunten 1, 3, 4, 6 en 8 op bedrijf 2 de hoogste mediaanwaarden hebben. Van de meetpunten 1 en 3 is bekend dat er geen opening in de vloer is, in de buurt van deze meetpunten. De meetpunten 4 en 8 liggen onder de ligboxen en meetpunt 6 bevindt zich bij de uitgang van de melkrobot. Voor al deze meetpunten (met uitzondering van punt 6) geldt dat de verticale luchtuitwisseling tussen kelder en stal maar zeer beperkt is (wel is eventueel luchtbeweging in de lengterichting).



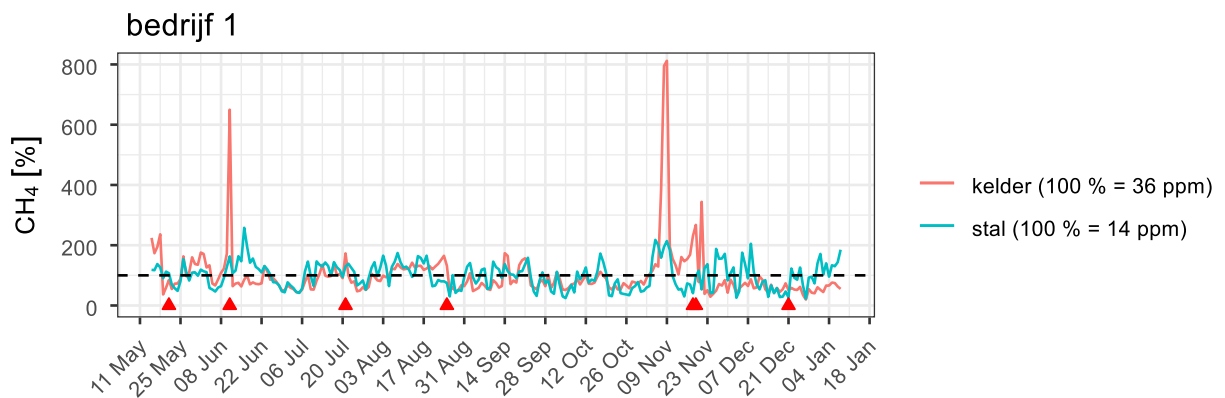
Figuur 9: Ammoniakconcentraties, ranges per meetpunt.  
De breedte van de lijn geeft de frequentie aan waarmee de waarde voorkomt.

In figuur 9 op de vorige pagina is te zien dat de verschillen tussen de meetpunten voor ammoniak veel kleiner zijn dan voor methaan. Bij bedrijf 1 zijn de mediaanwaarden van de meetpunten 1-4 (mestgang aan de voergang) wat hoger dan van de meetpunten 5-8. Dat valt samen met de scheiding tussen twee mestkelders. Op bedrijf 2 zien we eveneens een licht onderscheid tussen de mestkelders; hier liggen de medianen van de meetpunten 1-2 hoger dan van de meetpunten 3-8, hetgeen eveneens samenvalt met de scheiding tussen de kelders. Een duidelijk verband tussen de ligging van de meetpunten, de mestkwaliteit bij het betreffende meetpunt en de gemeten concentraties op de meetpunten is niet gevonden in dit onderzoek.

### 3.4 Samenhang met stalmetingen

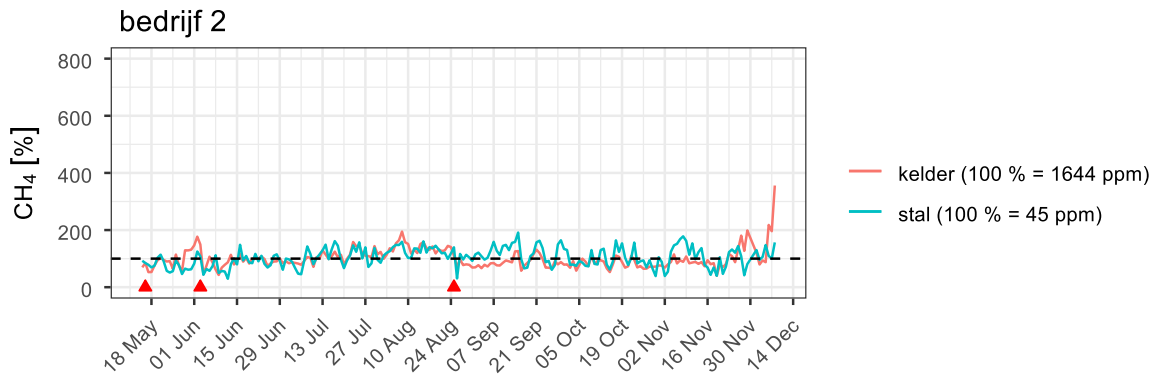
Het tweede doel van het project is het in beeld brengen van de relatie tussen de concentraties van de keldergassen methaan en ammoniak, met de gemiddelde stalluchtconcentratie van deze gassen. In de figuren 10A (bedrijf 1) op deze en 10B (bedrijf 2) en 11 op de volgende pagina, geven we de ontwikkelingen per bedrijf weer in de tijd, waarbij de relatieve verhoudingen met elkaar zijn vergeleken. Om deze, ondanks de soms grote concentratieverschillen, toch goed te kunnen vergelijken, zijn de waarden uitgedrukt als percentage van de gemiddelde concentratie, over de hele meetperiode, in respectievelijk de kelder en de stal.

De methaan-massabalans voor de stal bestaat uit een bijdrage vanuit de kelder (mest) en vanuit het dier. De hypothese voor methaan is dat de vloer geen effect heeft op de stalemissie, omdat de emissie van methaan niet wordt geremd door ophoping onder de keldervloer. Een dichte vloer zal relatief weinig lucht uitwisselen, met een hoge concentratie aan methaan; een open vloer meer lucht uitwisselen met een relatief lage concentratie aan methaan. Het ventilatiedebiet van de kelder is echter niet bekend, waardoor een de emissie van methaan vanuit de kelder naar de stal niet vast te stellen is.



Figuur 10A: Relatieve methaanconcentraties in de kelder (rode lijn) en stal (groene lijn), met mixmomenten (rode driehoekjes) op bedrijf 1.

Beide lijnen geven schommelingen weer ten opzichte van de gemiddelde concentratie in respectievelijk kelder en stal. Om een betere vergelijking te kunnen maken tussen stal- en kelderconcentraties is hier het gemiddelde weergegeven en niet de mediaan zoals in de eerdere teksten.



Figuur 10B: Relatieve methaanconcentraties in de kelder (rode lijn) en stal (groene lijn), met mixmomenten (rode driehoekjes) op bedrijf 2.

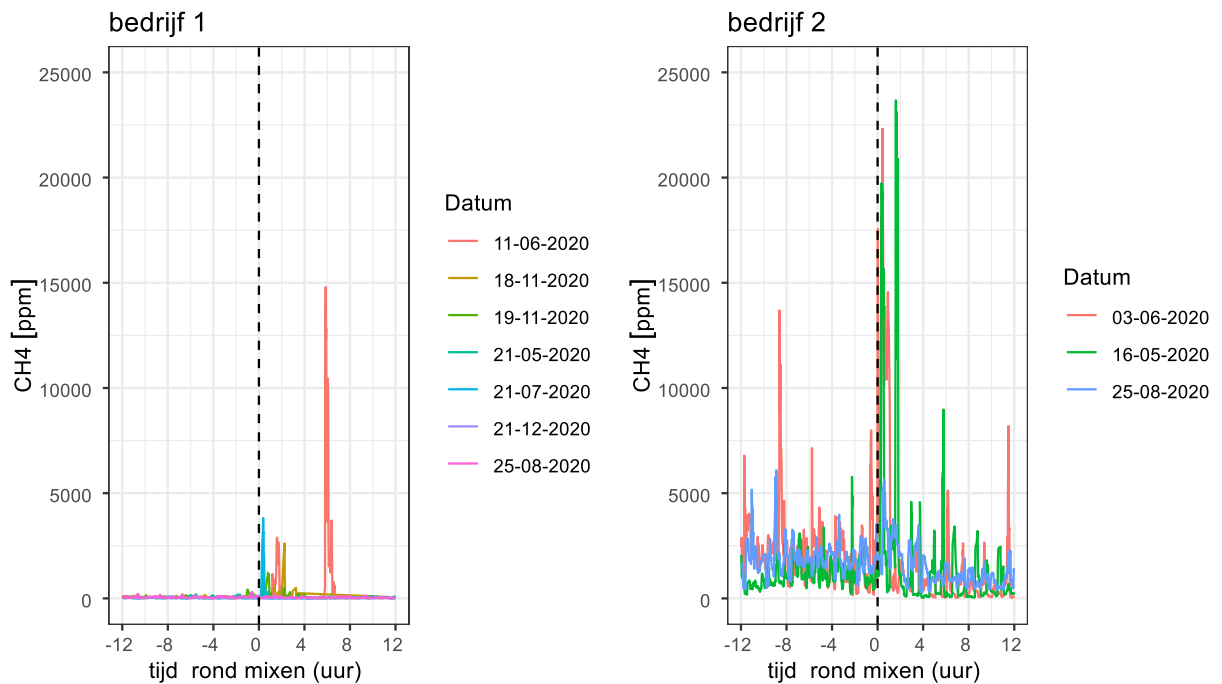
Beide lijnen geven schommelingen weer ten opzichte van de gemiddelde concentratie in respectievelijk kelder en stal. Om een betere vergelijking te kunnen maken tussen stal- en kelderconcentraties is hier het gemiddelde weergegeven en niet de mediaan zoals in de eerdere teksten.



Figuur 11: Relatieve ammoniakconcentraties in de kelder (rode lijn) en stal (groene lijn).

Beide lijnen geven schommelingen weer ten opzichte van de gemiddelde concentratie in respectievelijk kelder en stal. Om een betere vergelijking te kunnen maken tussen stal- en kelderconcentraties is hier het gemiddelde weergegeven en niet de mediaan zoals in de eerdere teksten. De piek op bedrijf 1 in november kan mogelijk verklaard worden uit mixen; voor de pieken eind december en begin januari zijn geen goede verklaringen gevonden. Mogelijk is aan het eind van december mest in enkele leidingen gekomen waardoor de metingen een vertekend beeld geven. De piek op bedrijf 2 eind december is waarschijnlijk verklaren uit het afvoeren van mest uit een volle mestkelder.

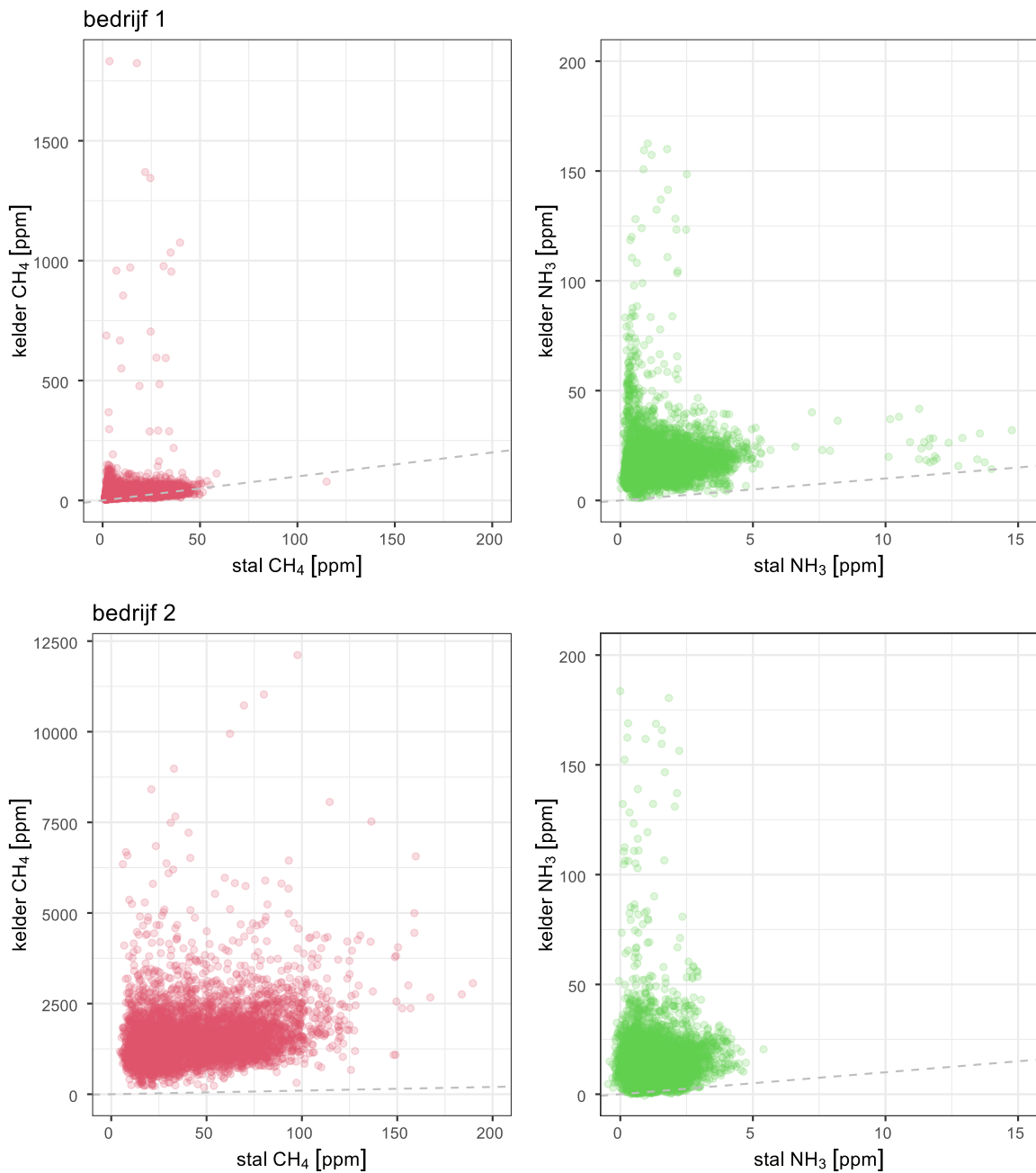
Om een eventueel verband in beeld te brengen tussen mixen en hoge methaanconcentraties hebben we de mixmomenten in een figuur gezet en de concentraties van 12 uur voor tot 12 uur na het mixmoment. Hieruit blijkt dat mixmomenten (vrijwel) altijd leiden tot een methaanpiek kort na het mixen, maar dat niet alle methaanpieken worden verklaard door het mixen. Ofwel: ook zonder mixen ontstaan pieken in de kelderconcentraties (zie figuur 12 hieronder).



Figuur 12: CH<sub>4</sub>-concentratie, 12 uur voor, tot 12 uur na het mixen.

Op bedrijf 2 levert dit duidelijke pieken op in de CH<sub>4</sub>-concentratie. Deze pieken komen echter ook op andere momenten voor.

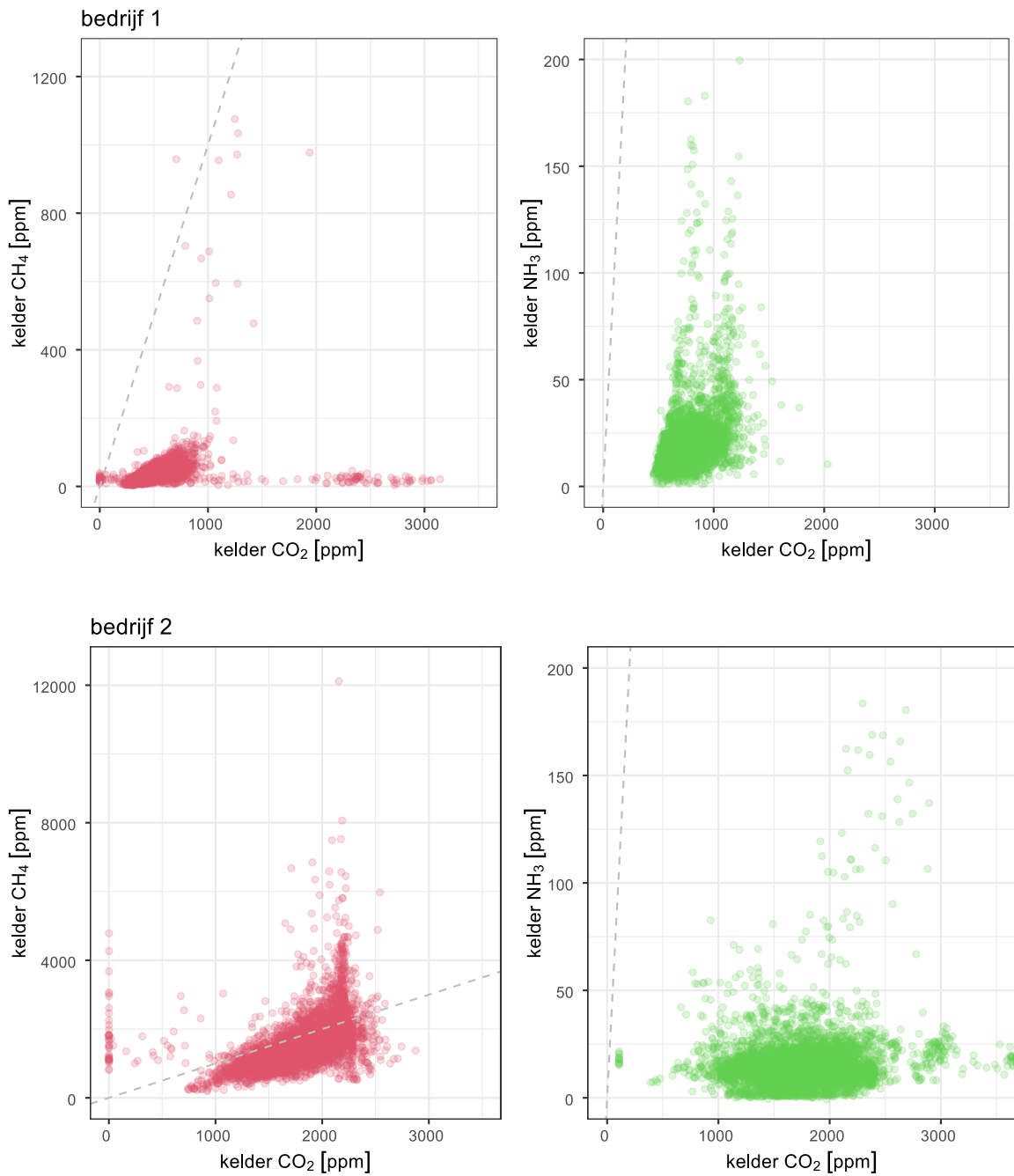
In figuur 13 op de volgende pagina is te zien dat een hogere kelderconcentratie niet direct terug te zien is in de stalconcentratie. Dit is te verklaren uit het feit dat de stal een grotere inhoud heeft dan de kelder en dat concentraties in de stal veel sterker fluctueren dan in de kelder, als gevolg van veranderende ventilatie. Bij opvolging van het advies om de stal maximaal te ventileren bij het mixen zal op stalniveau niet of nauwelijks een verhoogde concentratie gassen te meten zijn.



Figuur 13: Vergelijking tussen kelder en stalmetingen voor CH<sub>4</sub> (rood) en NH<sub>3</sub> (groen) met een resolutie van 1 minuut. De gestippelde lijn geeft een 1:1 molverhouding weer.

In figuur 14 op de volgende pagina hebben we vervolgens de CH<sub>4</sub>-en NH<sub>3</sub>-concentraties uitgezet tegen de CO<sub>2</sub>-concentraties. Opvallend is dat CO<sub>2</sub> redelijk gelijk oploopt met CH<sub>4</sub> op bedrijf 2 (ventilatie), met op bedrijf 2 relatief veel CO<sub>2</sub> in de kelder. Voor NH<sub>3</sub> is - als verwacht - geen enkele relatie met CO<sub>2</sub> op bedrijf 2 aan te tonen. Dit heeft te maken met de evenwichtsconcentratie die ontstaat voor NH<sub>3</sub>. Op bedrijf 1 lijkt wel een beperkt verband te zijn. Daar zou de ventilatie een rol kunnen spelen, die met name op dit bedrijf met de roostervloer ook effect heeft op de kelder.





Figuur 14: Vergelijking tussen CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> (rood), en tussen CO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> (groen) met een resolutie van een minuut.  
 De gestippelde lijn geeft een 1:1 molverhouding weer.  
 De piek in CO<sub>2</sub>-concentratie rond 2350 ppm betreft het meetmaximum. Waarden boven de 2350 ppm betreffen vermoedelijk ruis.

# 4

## Discussie

Dit hoofdstuk beschrijft enkele discussiepunten bij het onderzoek. Het gaat daarbij zowel om de duiding van het onderzoek als om mogelijke verklaringen van ontwikkelingen en nog uit te werken verbanden.

### 4.1 Representativiteit

Dit onderzoek is opgezet als oriënterend onderzoek naar keldergassen. Daarbij is gekozen voor twee bedrijven met duidelijk verschillende vloertypen. In het onderzoek zien we een groot verschil in keldergasconcentraties tussen beide bedrijven. Op basis van dit onderzoek is het echter niet mogelijk om een uitspraak te doen over de betreffende vloertypen in het algemeen. In de eerste plaats omdat van beide vloertypen slechts één bedrijf wordt gemeten. In de tweede plaats omdat management een belangrijke rol kan spelen. Dat zien we terug in bijvoorbeeld de samenstelling van de mest op de bedrijven (zie §3.2). Ook was op bedrijf 2 sprake van extreme schuimvorming op de mest. Van mestschuim is bekend dat de methaanconcentraties in de luchtbellens tussen de 60-80% liggen (Starmans et al, 2009<sup>9</sup>), hetgeen tot hoge concentraties kan leiden bij het kapotgaan van het schuim, bijvoorbeeld tijdens het mestmengen.

### 4.2 Ammoniak: geen verschil tussen bedrijven

Op basis van het eerdergenoemde onderzoek van Monteny Milieu Advies en DLV (§1.2), zou voor ammoniak een verschil in ammoniakconcentraties in de kelder worden verwacht. Daarbij zou onder de emissiearme vloer worden verwacht dat de concentraties ammoniak hoger zouden zijn dan onder de roostervloer. De metingen laten echter geen verschil zien tussen beide bedrijven. Daar kan een verschil in management of bedrijfssituatie achter zitten. Ook de grote hoeveelheden mestschuim kunnen als een (iets zure) isolatielaag hebben gediend, waardoor minder ammoniak is gevormd in de kelder.

Dit voorbeeld bevestigt het feit dat op basis van twee bedrijven geen uitspraak kan worden gedaan over de verschillen in vloersystemen.

---

<sup>9</sup> Starmans, D.A.J., K. Blanken, G.C.C. Kupers en M. Timmerman. Schuimvorming op mest – Deel 2 Melkvee, Rapport 288. Wageningen Universiteit, 2009.

### 4.3 Methaanophoping onder dichte vloer

Emissiearme vloeren zijn ontwikkeld om een ammoniakevenwicht onder de vloer op te bouwen, waarbij minder ammoniak vervluchtigt, door zeer beperkte uitwisseling met de stallucht. De theorie is dat bij methaan geen evenwicht gevormd wordt, maar dat de ontwikkeling van methaan ook bij hogere concentraties doorgaat. In dit onderzoek zien we een groot verschil. Waarschijnlijk wordt methaan door de zeer beperkte uitwisseling van kelderlucht met de buitenlucht niet verdrongen, waardoor het zich kan ophopen in de kelder. Een nadere analyse van de ligging van de meetpunten en methaanconcentraties bij de punten gaf geen uitsluitsel. Een veronderstelling was dat bij meetpunten dichtbij een vloeropening, lagere concentraties te zien zouden zijn dan bij meetpunten op plekken zonder opening in de buurt. Er spelen echt meer factoren mee, die van invloed kunnen zijn op vorming en ophoping van methaan, waardoor uiteindelijk geen duidelijke conclusie hierover kan worden getrokken.

### 4.4 Explosiegevaar

In de inleiding is genoemd dat één van de aanleidingen van het onderzoek de stalexplosie in Markelo is geweest. De vraag ligt dan ook voor of de gemeten gasconcentraties explosieve waarden bereiken. In dit onderzoek hebben we geen concentraties boven de Lower Explosion Level (LEL) voor methaan (44.000 ppm) gemeten. De methaanconcentraties lagen altijd beneden deze grens, waarbij het maximum uitkwam op >24.200 ppm<sup>10</sup>.

Ondanks het feit dat tijdens de metingen geen waarden hoger dan ruim de helft van de LEL zijn vastgesteld, kunnen we op basis van de metingen in dit project wel aangeven dat waarden boven de LEL in de praktijk wel denkbaar zijn. Op specifieke plaatsen in de stal kunnen de concentraties tijdens het mixen razendsnel oplopen. Juist op die momenten zouden (kortdurend) waarden boven de LEL kunnen ontstaan.

### 4.5 Keldergassen, schuimvorming en luchtdruk

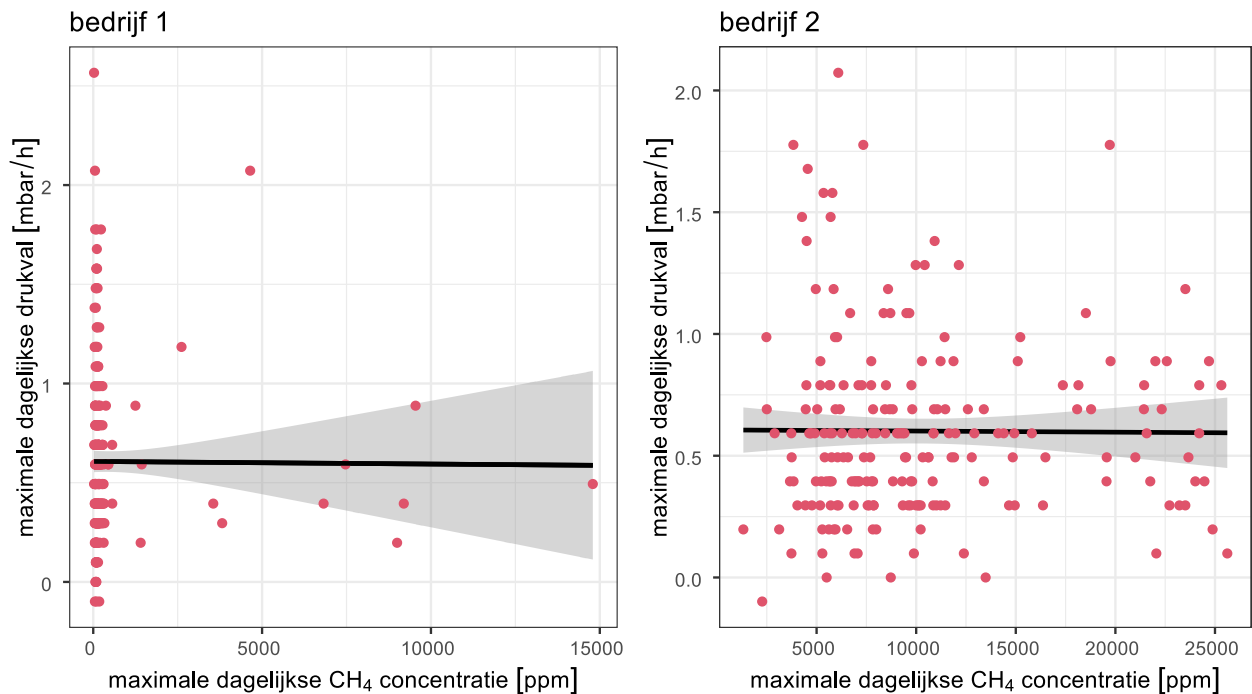
Zoals eerder in deze rapportage gemeld, is op bedrijf 2 sprake van veel schuimvorming op de mest. Van schuim is bekend dat de methaanconcentraties in de luchtbellen rond de 60-80% liggen (vergelijkbaar met biogas). Het schuim zelf is met deze methaanconcentraties al gevaarlijk. Daarnaast werkt het waarschijnlijk als buffer voor de emissie van methaan. Het kapotgaan van deze bellen in het schuim zorgt dat het methaan uit de buffer vrijkomt en zorgt daarmee voor hogere methaanconcentraties in de kelder. Wat niet duidelijk is, is wanneer en hoe de bellen kapotgaan, anders dan bij het mixen. Er zijn theorieën bekend dat hier mogelijk een relatie is met de luchtdruk. Ook de temperatuur zou hier een rol in kunnen spelen. In de analyses voor deze rapportage hebben we het verband niet kunnen vinden (zie figuur 15 op de volgende pagina).

Belangrijke beperking in deze analyse was het ontbreken van nauwkeurige cijfers over de luchtdruk op de specifieke locaties. Daardoor konden we geen goede analyses doen om eventuele effecten van

---

<sup>10</sup> Zeer kortdurend (enkele seconden) zijn hier waarden boven de 24.200 ppm gemeten. Daarbij kan de concentratie dus nog iets hoger zijn opgelopen. Gezien de omliggende waardes rondom deze piek wordt het niet waarschijnlijk geacht dat de piek nog heel veel hoger heeft gelegen.

luchtdruk op het stuk gaan van bellen in het schuim en eventueel daarmee vrijkomende methaan in beeld te brengen. Bij de analyses waren alleen urengegevens beschikbaar van luchtdruk op enkele KNMI-weerstations. Om een nauwkeuriger analyse te doen zouden minuutwaarden op de locatie zelf moeten worden gemeten, om ook schommelingen binnen het uur (waarbij een tijdelijke drukval binnen een uur ook weer wordt gecompenseerd) in beeld te hebben. Daarnaast zou tevens een correctie voor het ventilatiedebiet moeten worden bepaald om de emissie bij een luchtdrukval vast te kunnen stellen. Het is niet ondenkbaar dat een eventuele hogere emissie zich niet vertaalt in een hogere concentratie, omdat een emissiepiek veroorzaakt door een drukval samengaat met meer ventilatie. Een soortgelijke meting lijkt beter uitvoerbaar onder laboratoriumomstandigheden. In figuur 15 geven we de uitkomsten weer van de analyse in dit project, waarbij we, om tegemoet te komen aan bovengenoemde beperkingen, de maximale CH<sub>4</sub>-concentratie op een dag hebben afgezet tegen de maximale drukval per uur op een dag. Een dag met een hoge drukval zou volgens de theorie dan ook een hoge maximale CH<sub>4</sub>-concentratie moeten hebben; maar dat verband hebben we niet teruggevonden.



Figuur 15: Hoogste uurlijkse drukval per dag (bron: KNMI) uitgezet tegen maximaal gemeten CH<sub>4</sub>-concentratie in de kelder (rode stippen) met regressielijn (zwarte lijn).

Opvallend is dat gedurende de zomer, in een periode waarin niet gemengd werd, ook zeer hoge methaanconcentraties werden gemeten. Deze concentraties zijn tot op heden niet verklaard. Overigens veronderstellen we dat de aanwezigheid van schuim niet per definitie tot meer methaanemissie leidt. Het methaan wordt echter eerst ingesloten in de bellen van het schuim, alvorens dit vrijkomt en de stal verlaat.

## 4.6 Ontmenging

In het onderzoek zijn mestmonsters in de kelder steeds op twee niveaus genomen: een ondiep en een diep monster. Reden van dit onderscheid is dat met de tijd een verschil ontstaat in de samenstelling van de mest onderaan de kolom en de mest aan de oppervlakte. De uitwisseling van ammoniak en methaan gebeurt alleen in een grenslaag van mest/lucht (convectie). Doordat methaan door de hele kolom wordt gevormd, maar alleen weg kan lekken aan de oppervlakte, kan zich bij slechte menging - met name bij diepe kelders - mogelijk wel methaan ophopen in de mest, in kleine gasbelletjes. Dit methaan komt vrij zodra de mest wordt gemengd. Als dit zo is, kan het oplopen van de methaanconcentraties worden tegengegaan door regelmatig te mixen. Voor ammoniak verwachten we zo'n effect in mindere mate, omdat dit veel beter oplosbaar is in mest: daardoor zal het vrijkomen minder abrupt zijn, zeker daar waar de atmosferische concentraties oplopen.

Ontmenging kan worden bepaald door te kijken naar de gradiënt van de concentratie aan mineraal materiaal, in de kolom (met de hoogte). Dit is een relatief eenvoudige meting, waarmee het eventueel mogelijk zou kunnen worden om een indicatie te kunnen geven van de te verwachten methaanpiek bij een bepaalde mixfrequentie. Het is (ondanks eerdere aanwijzingen) bij nadere analyse niet mogelijk gebleken om een duidelijk verband te leggen tussen de mate van ontmenging en de tijd tussen mixen.

## 4.7 Het belang van continuumetingen

In het project is duidelijk de waarde van continuumetingen gebleken. De incidenteel hoge waarden worden alleen gevonden als continuumetingen plaatsvinden, hetgeen een argument is om bij vervolgonderzoek wederom deze meetstrategie toe te passen. Daarnaast geven de metingen een goed beeld van de fluctuaties gedurende de dag. Het feit dat in dit onderzoek wisselend per punt werd gemeten - waardoor slechts elke twee uur een kwartier werd gemeten op elk meetpunt - was in dat opzicht een beperking, maar een keuze uit kostenoverweging. Om de hoge pieken toch in beeld te kunnen krijgen, hebben de veehouders hun mixmomenten aangepast aan het meetschema. In een vervolgonderzoek zou de meetstrategie zodanig kunnen worden aangepast (bijvoorbeeld door het randomiseren van monsternamenpunten), dat voorkomen wordt dat vaste meetpunten op vaste momenten worden bemonsterd.

## 4.8 Concentraties versus fluxen

Vanwege de focus op explosiegevaar hebben we ons in dit rapport gefocust op gasconcentraties en hebben we niet naar emissies (fluxen) gekeken. Hoewel wel een verband tussen de twee te leggen is (emissie = concentratie x ventilatie (luchtverversing)), is de emissie niet zonder meer uit de concentratie af te leiden. Voor ammoniak is het zelfs zo dat hoge concentraties in de kelder leiden tot lagere emissies uit de mest: de ammoniak in de kelderlucht is immers in evenwicht met de ammoniakale stikstofconcentratie in de top laag van de mest.

Voor methaan ligt dit anders: methaan wordt niet geremd door concentraties in de lucht. Het gevolg daarvan is dat de concentratie sterk afhangt van de hoeveelheid methaan die in de mestkolom wordt geproduceerd (functie van met name gehalte aan organische stof en temperatuur), de snelheid waarmee methaan vrijkomt, en de mate waarin methaan wordt afgevoerd. Door de grote invloed van putventilatie, is het goed mogelijk dat de flink hogere concentratie

methaan in de kelder van het bedrijf met een emissiearme vloer, wordt veroorzaakt door minder ventilatie, terwijl de totale emissie van de twee bedrijven vergelijkbaar is.

De pieken in de methaanconcentratie waren zeer kortdurend vele malen hoger dan de gemiddelde concentratie. Het lijkt daarmee onwaarschijnlijk dat deze pieken samenhangen met veranderingen in methaanproductie of kelderventilatie. Het is aannemelijker dat deze pieken veroorzaakt worden door het plotseling vrijkomen van grote hoeveelheden methaan, die zitten opgesloten in de mestkolom, of een eventuele schuimlaag. Dit vermoeden wordt bevestigd doordat er een sterke samenhang is tussen het optreden van pieken en het mixen van mest. Bij het mixen (of anderszins verstoren van – of verstoring in - de mestkolom) zal methaan die in de mest zit opgesloten, in korte tijd ontsnappen naar de lucht. Deze pieken zouden daarmee gezien kunnen worden als ‘opgehoopte emissie’, veroorzaakt door het gedurende langere tijd niet goed vrijkomen van methaan.

Omdat het plotseling vrijkomen van methaan ook plaats kan vinden bij andere verstoringen, zoals het plotseling veranderen van de luchtdruk of het binnenkomen van spoelwater, is het vanuit het oogpunt van explosiegevaar/veiligheid, van belang om de voorraad methaan in de mestkolom te beperken. Dit kan door de mest regelmatig te mixen, maar beter nog door de mest te beluchten; daarmee wordt niet alleen het methaan uit de mestkolom afgevoerd, maar neemt ook de productie van methaan af (Montes et al, 2013<sup>11</sup>), omdat verschillende stoffen in de mestkolom (waaronder methaan) oxideren.

---

<sup>11</sup> F. Montes, R. Meinen, C. Dell, A. Rotz, A. N. Hristov, J. Oh, G. Waghorn, P. J. Gerber, B. Henderson, H. P. S. Makkar en J. Dijkstra, *Journal of Animal Science*, Volume 91, Issue 11, November 2013, Pages 5070–5094

## 5

## Conclusies en aanbevelingen

In het onderzoek zijn de resultaten verwerkt van metingen in de mestkelders van twee melkveebedrijven. In dit hoofdstuk bespreken we de conclusies op basis van de metingen van begin mei tot en met december 2020.

### 5.1 Conclusies

#### 5.1.1

##### Concentraties

Op beide gemeten bedrijven hebben we redelijk vergelijkbare ammoniakconcentraties in de kelders gevonden. Op het bedrijf met een traditionele roostervloer bedroeg de gemiddelde concentratie 20 ppm, op het bedrijf met een emissiearme vloer was dit 16 ppm. De pieken verschilden tussen de bedrijven; op het bedrijf met de emissiearme vloer was de hoogst gemeten concentratie 352 ppm, tegenover 752 ppm op het bedrijf met de traditionele roostervloer.

Het niveau van en variatie in de methaanconcentraties verschilde veel sterker tussen beide bedrijven. Lag de gemiddelde concentratie op het bedrijf met een traditionele roostervloer op 36 ppm, op het bedrijf met een emissiearme vloer bedroeg dit 1.640 ppm. De maxima daarentegen lagen qua niveau dicht bij elkaar met respectievelijk 14.793 ppm en 25.618 ppm.

De resultaten van dit onderzoek vormen een eerste indicatie van de gasconcentratieniveaus in kelders op melkveebedrijven. In dit onderzoek doen we geen uitspraken over verschillen tussen bedrijven met een emissiearme vloer en bedrijven met een traditionele roostervloer. Op basis van één bedrijf van elk type kunnen we geen conclusies trekken over deze groepen in het algemeen, omdat de bedrijven op meer factoren van elkaar verschillen dan enkel de stalvloer. Met maxima van 14.793 en >24.200 ppm<sup>12</sup>, is op geen van beide bedrijven een explosieve methaanconcentratie gemeten. De ondergrens voor een explosief methaanmengsel, de zogenaamde Lower explosion level (LEL), bedraagt 44.000 ppm. Wel zijn er grote pieken tijdens het mestmengen, waarbij concentraties binnen 30 minuten oplopen van minder dan 1.000 ppm tot boven de 20.000 ppm en even snel weer dalen. Gezien de grote verschillen in concentraties tussen meetpunten op de

---

<sup>12</sup> Zeer kortdurend (enkele seconden) zijn hier waarden boven de 24.200 ppm gemeten. Daarbij kan de concentratie dus nog iets hoger zijn opgelopen. Gezien de omliggende waardes rondom deze piek wordt het niet waarschijnlijk geacht dat de piek nog heel veel hoger heeft gelegen.

bedrijven, is het denkbaar dat er stallen zijn met plekken waar de concentraties met name tijdens het mixen (zeer kortdurend, enkele minuten) kunnen oplopen tot op of boven de LEL.

### 5.1.2

#### Samenhang kelderconcentraties met stalconcentraties

De verhouding tussen kelder- en stalluchtconcentraties verschillen sterk tussen de beide bedrijven. Met name voor methaan is dit het geval. Op bedrijf 2 is het niveau van de stalluchtconcentraties bijna 40 keer lager dan dat van de kelderluchtconcentraties. Op bedrijf 1 is dit verschil maar ruim 2,5 keer. Toch liggen de absolute waarden van de concentraties in stal 2 nog drie keer zo hoog als in stal 1.

Voor ammoniak liggen de waarden in de kelder op respectievelijk 20 en 16 ppm, terwijl dat op beide bedrijven op stalniveau 1 ppm bedraagt. De verschillen tussen de absolute waarden in de stallen worden medebepaald door het ventilatiedebiet. Hogere kelderconcentraties zijn overigens niet direct terug te zien in stalconcentraties. De stal heeft een veel grotere inhoud dan de kelder en de concentraties in de stal fluctueren veel sterker dan in de kelder, als gevolg van veranderende ventilatie. Bij opvolging van het advies om de stal maximaal te ventileren bij het mixen, zal op stalniveau niet of nauwelijks een verhoogde concentratie gassen te meten zijn.

Het ligt dus niet voor de hand om te veronderstellen dat optredende concentratiepieken in de kelder kunnen worden gedetecteerd door metingen te doen in de stal.

Wel lijkt een verband te bestaan tussen de CO<sub>2</sub>- en de CH<sub>4</sub>-concentraties in de kelder. Deze verhoudingen lijken echter per bedrijf te verschillen. Een relatief lage CH<sub>4</sub>-concentratie, ten opzichte van CO<sub>2</sub>, kan daarbij duiden op een lage CH<sub>4</sub>-emissie vanuit de kelder.

## 5.2

### Aanbevelingen

De resultaten van dit onderzoek bieden een eerste inzicht in de hoogte van methaan- en ammoniakconcentraties in twee melkveestallen.

Om meer te weten te komen over de effecten van diverse variabelen en om goed te kunnen inschatten wat de reductiepotentie is, is aanvullend onderzoek nodig. Daarbij moet de nadruk liggen op factoren die methaanemissie uit mest beïnvloeden, ofwel de factoren die de afbraak van organische stof door micro-organismen beïnvloeden. Het gaat daarbij om temperatuur, retentietijd, entmateriaal, zuurgraad (pH), beschikbaarheid van zuurstof en natuurlijk de kwaliteit van de af te breken organische stof. Een soortgelijk onderzoek zou ook onder geconditioneerde omstandigheden moeten plaatsvinden; daarvoor zijn praktijkstallen minder geschikt.

Daarnaast geeft een verdere uitbreiding van het onderzoek een beter algemeen beeld van problemen en risico's, door opschaling van het aantal bedrijven waar gemeten wordt.

Schuimvorming op de mest is een bekend en veel voorkomend probleem. Over de aanpak en bestrijding ervan is nog nauwelijks iets bekend, terwijl mestschuim tijdens het mixen een groot risico oplevert. Naast onderzoek naar methaanvorming in de kelder en het vrijkomen van in de mestkolom opgesloten methaan, is daarom aanvullend onderzoek wenselijk, naar de vorming en bestrijding van mestschuim.

Door de juiste managementmaatregelen te treffen op het bedrijf, lijkt het vooralsnog mogelijk de grootste risico's aanzienlijk te reduceren. Daarom bevelen we aan om een concreet stappenplan op te stellen, om veehouders handvatten te bieden om zowel schuimvorming op de mest, als het ontstaan van hoge methaanconcentraties in de toekomst te voorkomen.



In dit kader geven we enkele handvatten om risico's op en met hoge methaanconcentraties in de kelder te verkleinen. Het betreft hier algemene handvatten die niet direct voortkomen uit dit onderzoek. Een verdere uitwerking is opgenomen in een studentenonderzoek van Robin Cranendonk, student Integrale Veiligheidskunde aan de Hogeschool InHolland. Dit onderzoek werd uitgevoerd van februari-mei 2021, als afstudeeronderzoek onder begeleiding van CLM Onderzoek en Advies en raakt direct aan de inhoud van het onderzoek naar keldermetingen.

Het afstudeeronderzoek is bij CLM op te vragen.

### **Maatregelen die risico's op stalexplosies kunnen beperken**

We beschrijven hieronder de stappen, in de volgorde van direct toepasbaar tot toepasbaar op lange(re) termijn.

- Zorg ervoor dat geen ontstekingsbronnen aanwezig zijn tijdens het mixen van de mest en op andere risicovolle momenten. Schakel de mestrobot of mestschuif - en andere apparatuur waarbij mogelijk vonken ontstaan - tijdelijk uit en rook niet.
- Zorg eventueel voor afdichting van een deel van de vloer met een rubberen mat, als het risico op vonken naar de kelder niet te voorkomen is.
- Mestschuim bestaat voor 60-80% uit methaan. Bij het mixen gaan de belLEN in het schuim deels kapot, waardoor schuimvorming vrijwel altijd leidt tot hoge methaanconcentraties tijdens het mixen. Wees dus extra voorzichtig in die situaties.
- Zorg voor voldoende ventilatie tijdens het mixen; mix bij voorkeur op een winderige dag en open alle ventilatieopeningen in de stal.
- Mix vaker, zodat methaan minder kans krijgt om zich op te hopen in de mest. Denk eventueel aan frequent mixen met luchtbelLEN.
- Zorg voor het juiste voer voor het vee en optimale benutting ervan. Hoge, makkelijk afbreekbare C-gehalten in de mest, kunnen het vergistingsproces versterken en op die manier leiden tot hogere methaanconcentraties.
- Blijf tijdens het mixen nooit bij de mixput staan, of in de cabine van de trekker zitten. Naast methaan komt ook het giftige gas waterstofsulfide ( $H_2S$ ) vrij. Dit gas is in veel lagere concentraties al zeer gevaarlijk en eist jaarlijks dodelijke slachtoffers op boerderijen.

## **Bijlagen**

## Bijlage 1: Meetapparatuur

Onderstaande foto's geven een indruk van de meetapparatuur.



Figuur B1.1 Meetopstelling voorzijde

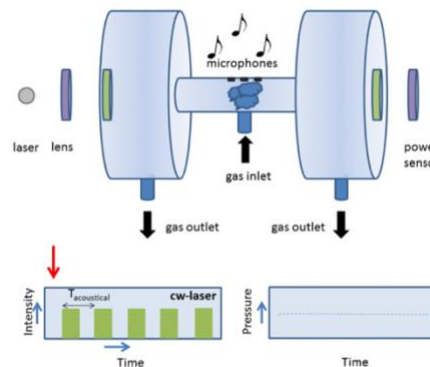
1. aanzuigleiding stallucht
2. pomp aanzuiging stallucht
3. buffervat stallucht
4. achteraanzicht buffervat
5. aftappunten voor validatie
6. methaananalyser
7. ammoniakanalyser
8. Scherm met live meetwaarden



Figuur B1.2 Achteraanzicht meetopstelling

Voor validatiemetingen zijn aan de achterzijde van het buffervat een viertal aansluitingen gemaakt om lucht af te tappen voor natchemische of gaschromatografie-metingen.

De analyzers maken gebruik van foto-akoestiek met behulp van een telecomlaser voor het meten van ammoniak en methaan. Het laserlicht wordt omgezet in een geluidsgolf die wordt opgevangen door enkele microfoons. De golflengte van het laserlicht is specifiek voor het type gas dat daarbij gemeten wordt. Schematisch weergegeven ziet dit er als volgt uit:



Figuur B1.3 Voor het meten van de CO<sub>2</sub> wordt gebruik gemaakt van infrarood (NDIR) metingen.

De analyzers zijn uitgerust met software die ervoor zorgt dat de gemeten concentraties direct worden omgerekend naar emissies. Dat gebeurt met behulp van CIGR-rekenregels voor het ventilatiedebiet in open stallen. Met het tonen van de concentraties is het voor de veehouder eenvoudig om een inschatting te maken waar hij staat op basis van herkenbare waarden. Tevens zijn daarmee fluctuaties in de emissies sneller terug te zien, aangezien direct een correctie plaatsvindt voor het ventilatiedebiet.

Voor de metingen in de kelders is gebruik gemaakt van dezelfde apparatuur en een vergelijkbare opstelling als bij de stalmetingen. Daarbij is een belangrijk verschil dat de 8 meetpunten achtereenvolgens steeds 15 minuten gemeten zijn. Daarnaast wordt bij de keldermetingen geen emissie berekend en worden uitsluitend concentraties gerapporteerd, aangezien het ventilatiedebiet vanuit de kelder niet kan worden berekend.

In de Factory Acceptance Test (FAT) zijn de volgende meetranges weergegeven. Deze ranges geven het verwachte meetbereik aan van de betreffende apparatuur. In de praktijk bleek deze range hoger te liggen voor methaan op bedrijf 2. Overschrijding van de maximale meetwaarde wordt door de analyser gemarkeerd als meetfout. Daarbij kwam de werkelijke maximale meetwaarde hoger uit dan de voorziene meetwaarde in de FAT.

Tabel B1.1 Maximaal meetbereik van de apparatuur op de beide meetbedrijven

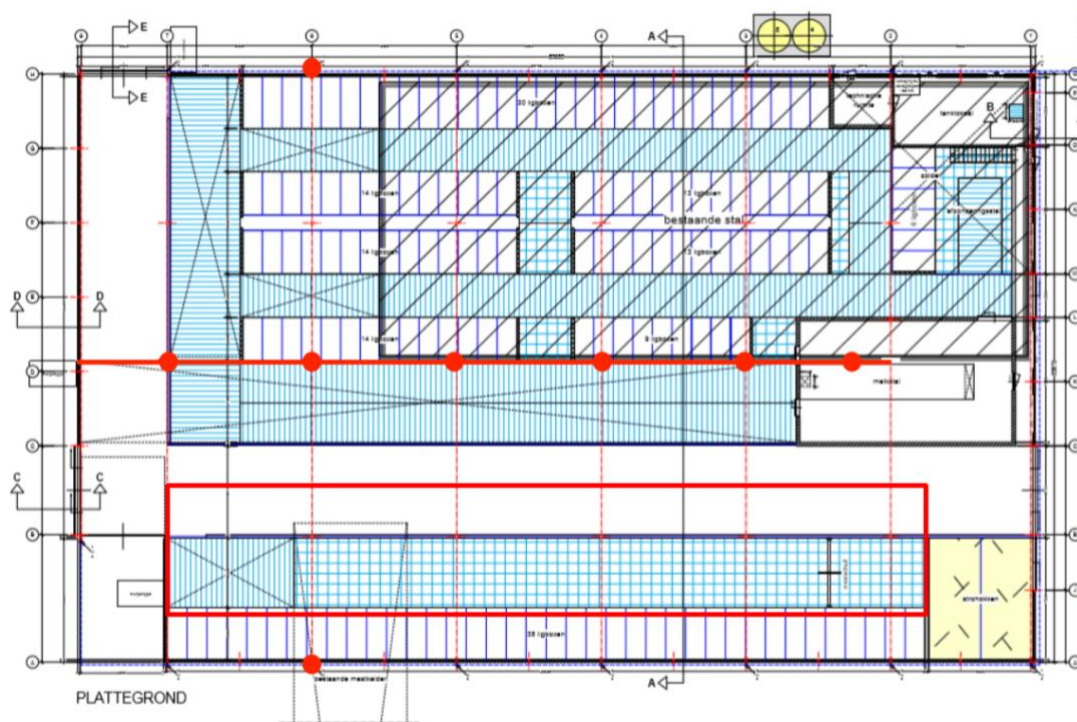
Bedrijf en sensor/ meting	Meetbereik volgens FAT	Meetbereik praktijk
<b>1</b>		
CH <sub>4</sub>	22.785 ppm	nb
NH <sub>3</sub>	4.611 ppm	nb
CO <sub>2</sub>	2.350 ppm	2.350 ppm
<b>2</b>		
CH <sub>4</sub>	16.098 ppm	24.200 ppm
NH <sub>3</sub>	9.342 ppm	nb
CO <sub>2</sub>	2.350 ppm	2.350 ppm

In geval van vermelding nb is er geen waarde hoger dan het meetbereik gemeten en geen waarde lager door de analyser als meetmaximum geregistreerd.

## Bijlage 2: Meetlocaties

### Stal 1 met traditionele roostervloer

De metingen vonden plaats in een ligboxenstal voor melkvee (75% HF, 25% Flekvieh) met traditionele betonnen roosters in de loopgangen en de doorsteken. De ligboxen zijn voorzien van rubber en een mengsel van stro, water en kalk. In deze stal kunnen de dieren vrij bewegen en hebben de beschikking over 107 ligboxen, 6 separatieboxen en 1 strohok (ca. 42 m<sup>2</sup>). Het 1-rijig gedeelte is niet ingericht en niet in gebruik (zie Figuur B2.1 hieronder). In de stal wordt melkvee derhalve in een 0+4 stalinrichting gehuisvest. De dieren worden in een inpendige melkstal (2x12 zij aan zij) gemolken, zonder specifieke wachtruimte. De dieren wachten op de brede loopgang aan het voerhek om te worden gemolken. Op dit bedrijf wordt weidegang toegepast (155 dagen – tussen april en oktober -; 8,5 uren per dag). Het loopgedeelte van de stal is op te delen in lange gangen en doorsteken om van de ene loopgang naar de andere te komen. De loopruimtes bestaan uit traditionele betonnen roosters. De loopgangen worden door middel van een mestrobot geschoven. De mestkelder is 1,40 m diep en bevindt zich met name onder loopgangen, maar ook deels onder de ligboxen. De totale mestopslagcapaciteit van de stal is ca. 870 m<sup>3</sup>. Op dit bedrijf wordt beperkt gemixt (vlak voor het mestuitrijden). Voor het dagelijks gebruik is 5,0 m<sup>2</sup> per dier beloopbaar vloeroppervlak beschikbaar.



Figuur B2.1 Stalindeling en positie meetapparatuur. De ligboxen in het rode omrande stalgedeelte (1-rijig) wordt niet gebruikt. Daar zijn ook geen ligboxen aanwezig, maar dit deel dient als berging/stro-opslag.

De stal wordt natuurlijk geventileerd. De luchtinlaat kan worden geregeld met ventilatiedoek. Dit is aan beide kanten van de stal (1 zijde volledige lengte, 1 zijde tot aan technische ruimte en tanklokaal) over nagenoeg de hele hoogte van de zijgevels (ca. 3,5 m hoog) en in de achtergevel is ventilatiedoek aanwezig over een hoogte van ca. 2,75m. Daarmee is het regelbare ventilatieopperv-

vlak respectievelijk 190 en 150 m<sup>2</sup> voor de beide zijkanten en 90 m<sup>2</sup> voor de achtergevel. In het midden van de stal is op het dak over de gehele lengte een open nok geplaatst. Het dak van de stal is volledig geïsoleerd.

Het rantsoen voor de melkkoeien bestaat uit zowel ruwvoer als krachtvoer. Drinkwater is onbeperkt beschikbaar via grote drinkbakken. Het voer wordt overdag op regelmatige tijden verstrekt. In Tabel B2.1 zijn de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf op een rij gezet.

**Tabel B2.1** Belangrijkste kenmerken van de onderzochte melkveestal.

Kenmerken	Waarde
Huisvestingssysteem	Traditionele ligboxenstal met betonnen roosters en mestkelder (1,40 m diep)
Afmetingen stal (lengte [m] x breedte [m])	55,055 m lang en 33,87 m breed
Goot- en nokhoogte [m]	Ca. 3,20 m goothoogte en 10,496 m nokhoogte
Oriëntatie van de stal	ONO – WZW
Aantal ligboxen/dierplaatsen	107
Leefruimte (voor dagelijks gebruik)	
- Ligboxen (m <sup>2</sup> per dier)	2,75
- Loopoppervlak (m <sup>2</sup> per dier)	5,00
Beschrijving loopoppervlak voor dagelijks gebruik (dichte vloer, roostervloer,...)	Traditionele roostervloer
Materiaal loopoppervlak voor dagelijks gebruik (beton, kunststof)	Beton
Separatieruimtes <sup>1</sup>	
- Aantal ligboxen	6
- Aantal en oppervlak (m <sup>2</sup> ) strohok(ken)	1 stuks van ca. 42 m <sup>2</sup>
- Totaal gerelateerd roosteroppervlak (m <sup>2</sup> )	n.v.t.
Mestkelder (beschrijving en diepte in m)	Alleen onder de loopgangen (zie tekening); 1,70 m diep
Mestverwijdering en frequentie	Middels een mestrobot; schuiffrequentie 1x per 2,5 uur
Afvoer mest uit de stal	Drijfmest middels pomptankwagen; tijdens uitrijseizoen
Ventilatieopeningen (beschrijving)	Stuurbare ventilatiegordijnen aan de zijkanten (4 meter hoog) en de achtergevel (2,75 meter hoog)
Voersysteem en voertijden	Voeren met voerdoseerwagen: 's middags voor het melken rond 18 uur
Drinkwatersysteem en drinktijden	Voorraadbakken die de hele dag volstaan
Lichtregime	Donker van 22.00 tot 6.00 uur
Melkproductie (jaargemiddelde; kg/dier/dag)	23,05
Melkureumgehalte (jaargemiddelde; mg/100g)	18

<sup>1</sup> De dierplaatsen van separatieruimte en strohok worden niet meegenomen in de emissieberekening

**Tabel B2.2** Belangrijkste kenmerken van de onderzochte melkveestal.

Kenmerken	Waarde
<sup>2</sup> Weidegang	8,5 uur per dag gedurende 155 dagen (april – oktober)
<sup>2</sup> Melkproductie en -samenstelling (%vet; %eiwit; ureumgehalte in mg/100g; fosforgehalte in mg/100g)	845.378 kg, 4,69%, 3,63%, 18 mg/100 g, 101 mg/100 g
<sup>2</sup> Rantsoen	
Voeropname (kg ds/dier/dag)	20,0
Aandeel vers gras (%)	11,9
Aandeel graslandproducten (%)	41,5
Aandeel maïsproducten (%)	17,5
Aandeel overige ruwvoer en bijproducten (%)	3,7
Aandeel krachtvoer en mineralen (%)	25,4

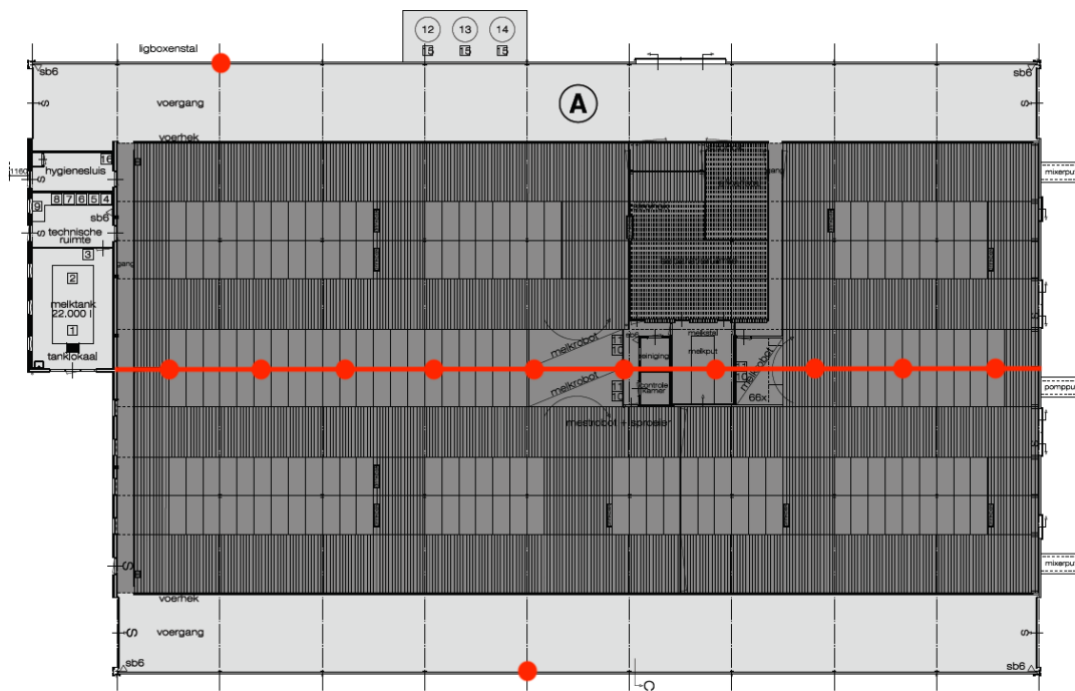
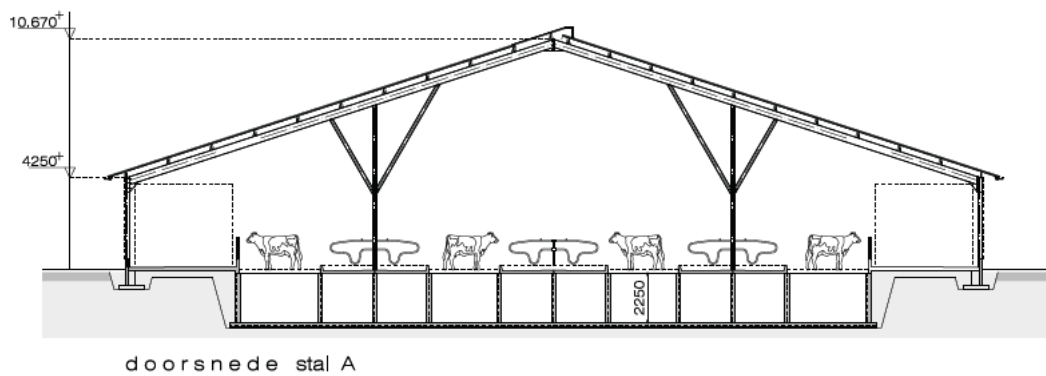
<sup>2</sup> Weidegang, rantsoen, melkproductie en samenstelling: jaargemiddelden op basis van kringloopwijzer 2019

### Stal 2: emissiearme vloer

De metingen vonden plaats in een ligboxenstal voor melkvee (HF) met de zgn. D1-vloer van Berkel Beton (RAV 1.14; BWL 2013.01) in de loopgangen en de doorsteken. De ligboxen zijn voorzien van strooisel (combinatie zaagsel en paardenmest). In deze stal kunnen de dieren vrij bewegen en hebben de beschikking over 192 ligboxen, 1 hok voor koeseperatie en afgekalfde koeien (samen 90 m<sup>2</sup>, waarvan 25 m<sup>2</sup> roosters en 65 m<sup>2</sup> stro). In de stal (Figuur B2.2) wordt melkvee derhalve in een 0-6-0 stalinrichting gehuisvest. De dieren worden met behulp van 3 inpendige melkrobots gemolken, zonder specifieke wachtruimte. Op dit bedrijf wordt weidegang toegepast (120 dagen, 6 uren per dag). Het loopgedeelte van de stal is op te delen in lange gangen en doorsteken om van de ene loopgang naar de andere te komen. De loopruimtes bestaan uit dichte betonnen vloerdelen. De loopgangen worden door middel van een Lely discovery SW elke 3 uur geschoven. De mestkelder is 2,25 m diep en bevindt zich onder zowel de loopgangen als de ligboxen, maar niet onder de voergangen. De totale mestopslagcapaciteit van de stal is ca. 3700 m<sup>3</sup>. Op dit bedrijf wordt beperkt gemixt (vlak voor het mestuitrijden). Voor het dagelijks gebruik is 4,75 m<sup>2</sup> per dier beloopbaar vloeroppervlak beschikbaar.

De stal wordt natuurlijk geventileerd. Aan beide kanten van de stal is ventilatiedoek aanwezig over nagenoeg de hele hoogte van de zijgevels (ca. 4 m hoog), waarmee de opening van de luchtinlaat kan worden geregeld. Daarmee is het regelbare ventilatieoppervlak 240 m<sup>2</sup> per kant. In het midden van de stal is op het dak over de gehele lengte een open nok geplaatst. Het dak van de stal is volledig geïsoleerd, zie ook de foto van figuur B 2.2 op de volgende pagina.

Het rantsoen voor de melkkoeien bestaat uit zowel ruwvoer als krachtvoer. Drinkwater is onbeperkt beschikbaar via grote drinkbakken. Het voer wordt overdag op regelmatige tijden verstrekt. In Tabel B2.3 op pagina 40 zijn de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf op een rij gezet.



Figuur B2.2 Stalruiterlijk en -indeling, inclusief oriëntatie van de stal en positie meetapparatuur (sample line en 2 buitenmeetpunten).



**Tabel B2.3** Belangrijkste kenmerken van de onderzochte melkveestal

Kenmerken	Waarde
Huisvestingssysteem	Ligboxenstal met emissie-arme vloer
Afmetingen stal (lengte [m] x breedte [m])	60 x 40
Goot- en nokhoogte [m]	Goothoogte 4,25 Nokhoogte 10,67
Oriëntatie van de stal	NNW-ZZO
Aantal ligboxen/dierplaatsen	192
Leefruimte (voor dagelijks gebruik)	
- Ligboxen (m <sup>2</sup> per dier)	2,75 m <sup>2</sup>
- Loopoppervlak (m <sup>2</sup> per dier)	4,75 m <sup>2</sup>
Beschrijving loopoppervlak voor dagelijks gebruik (dichte vloer, roostervloer)	Dichte vloer (D1 vloer Berkel Beton) met spleet (4 cm) om de 1,2 m
Materiaal loopoppervlak voor dagelijks gebruik (beton, kunststof)	beton
Separatieruimtes <sup>1</sup>	
- Aantal ligboxen	nvt
- Aantal en oppervlak (m <sup>2</sup> ) strohok(ken)	1 hok van 90 m <sup>2</sup>
- Totaal gerelateerd roosteroppervlak (m <sup>2</sup> )	Van deze 90 m <sup>2</sup> is 25 m <sup>2</sup> rooster
Mestkelder (beschrijving en diepte in m)	Onder gehele stal muv ruimte onder melkrobot en voergangen; 2,25 mtr diep
Mestverwijdering en frequentie	Middels een Lely discovery SW; schuiffrequentie 1 x per 3 uur
Afvoer mest uit de stal	Drijfmest middels pomptankwagen; tijdens uitrijseizoen
Ventilatieopeningen (beschrijving)	Beide zijkanten van de stal (3,75 m hoog) is meestal geheel open
Voersysteem en voertijden	Voeren met voermengwagen: 's morgens tussen 9 en 11 uur
Drinkwatersysteem en drinktijden	Voorraadbakken die de hele dag volstaan ( <i>ad lib</i> )
Lichtregime	Vollicht 5:30 tot 22:45 uur Nachtlicht 22:45 tot 5:30 uur
Melkproductie (jaargemiddelde; kg/dier/dag)	23,77
Melkureumgehalte (jaargemiddelde; mg/100g)	19

<sup>1</sup> De dierplaatsen van separatieruimte/strohok worden niet meegenomen in de emissieberekening

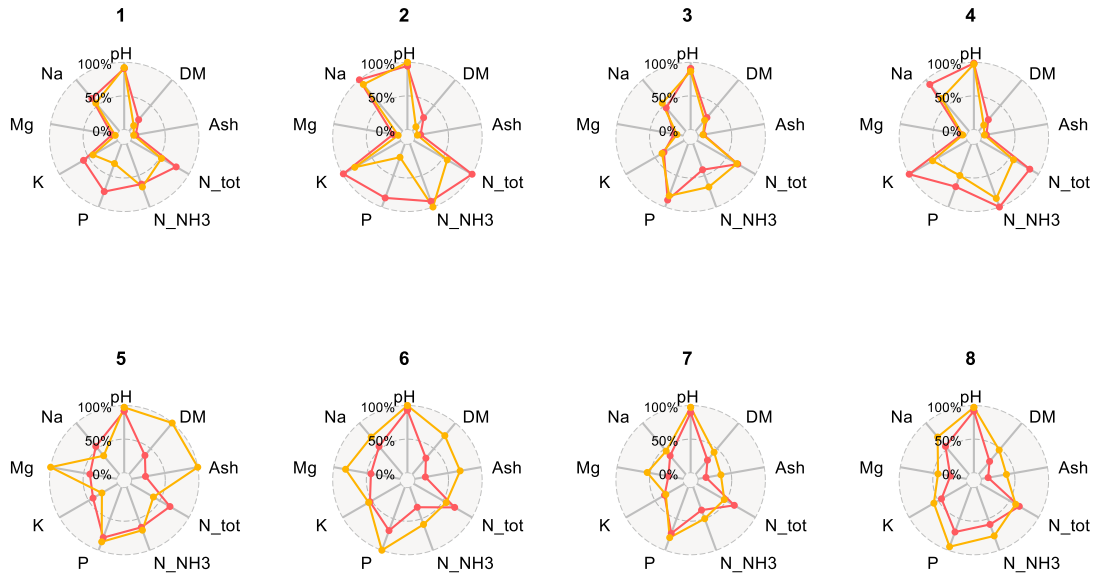
**Tabel B2.4** Belangrijkste kenmerken van de onderzochte melkveestal

Kenmerken	Waarde
<sup>2</sup> Weidegang	6 uur per dag gedurende 120 dagen
<sup>2</sup> Melkproductie en -samenstelling (%vet; %eiwit; ureumgehalte in mg/100g; fosforgehalte in mg/100g)	1.712.499 kg, 4,36%, 3,51%, 19 mg/100 g, 100 mg/100 g
<sup>2</sup> Rantsoen	
Voeropname (kg ds/dier/dag)	20,3
Aandeel vers gras (%)	8%
Aandeel graslandproducten (%)	34%
Aandeel maïsproducten (%)	23%
Aandeel overige ruwvoer en bijproducten (%)	9%
Aandeel krachtvoer en mineralen (%)	26%

2 Weidegang, rantsoen, melkproductie en samenstelling: jaargemiddelden op basis van kringloopwijzer 2019

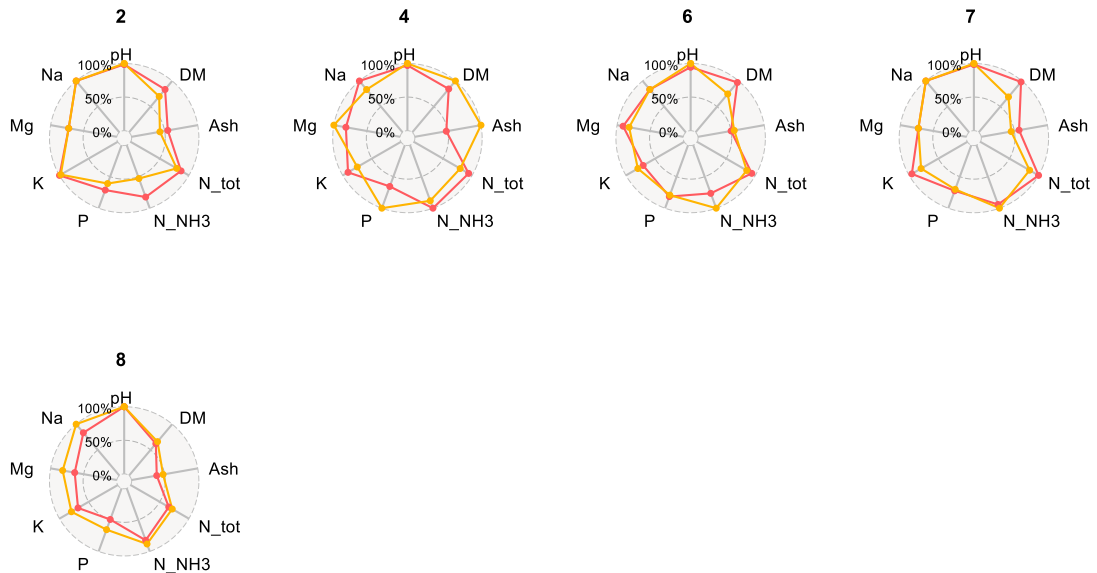
## Bijlage 3: Mestmonsters per locatie

### bedrijf 1



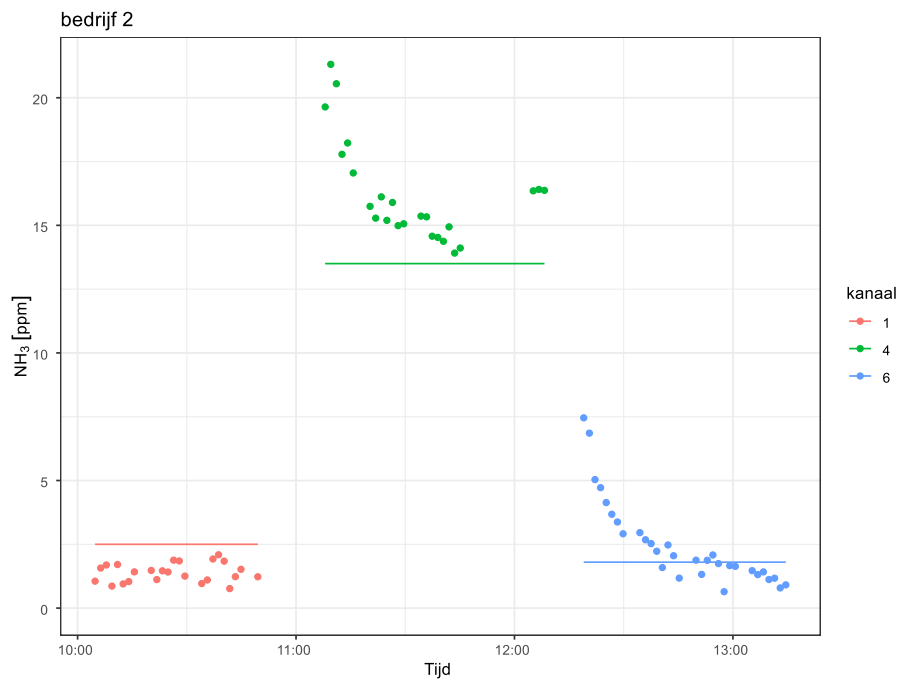
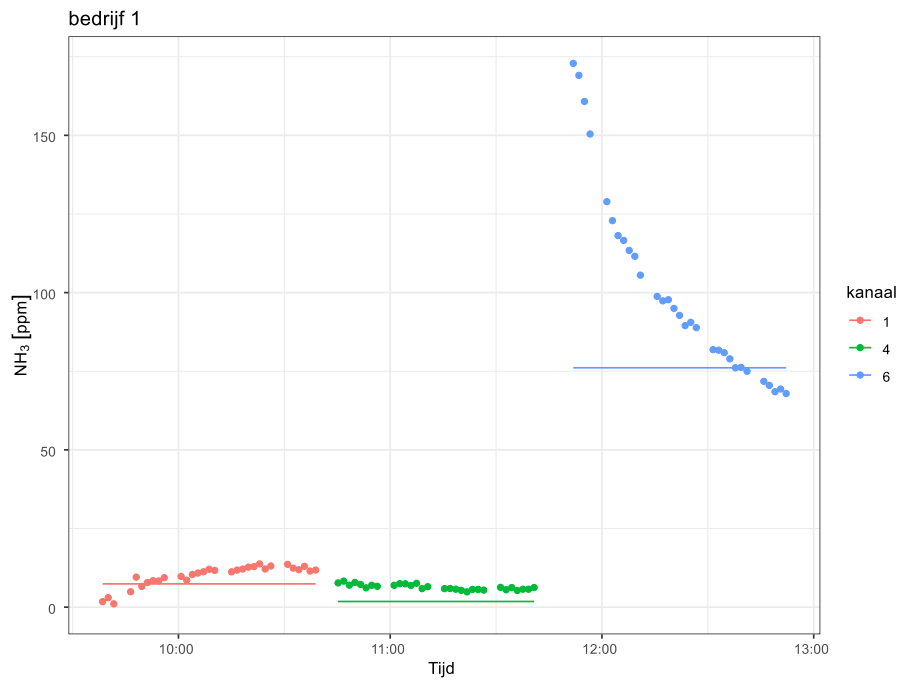
—●— boven  
—●— onder

### bedrijf 2

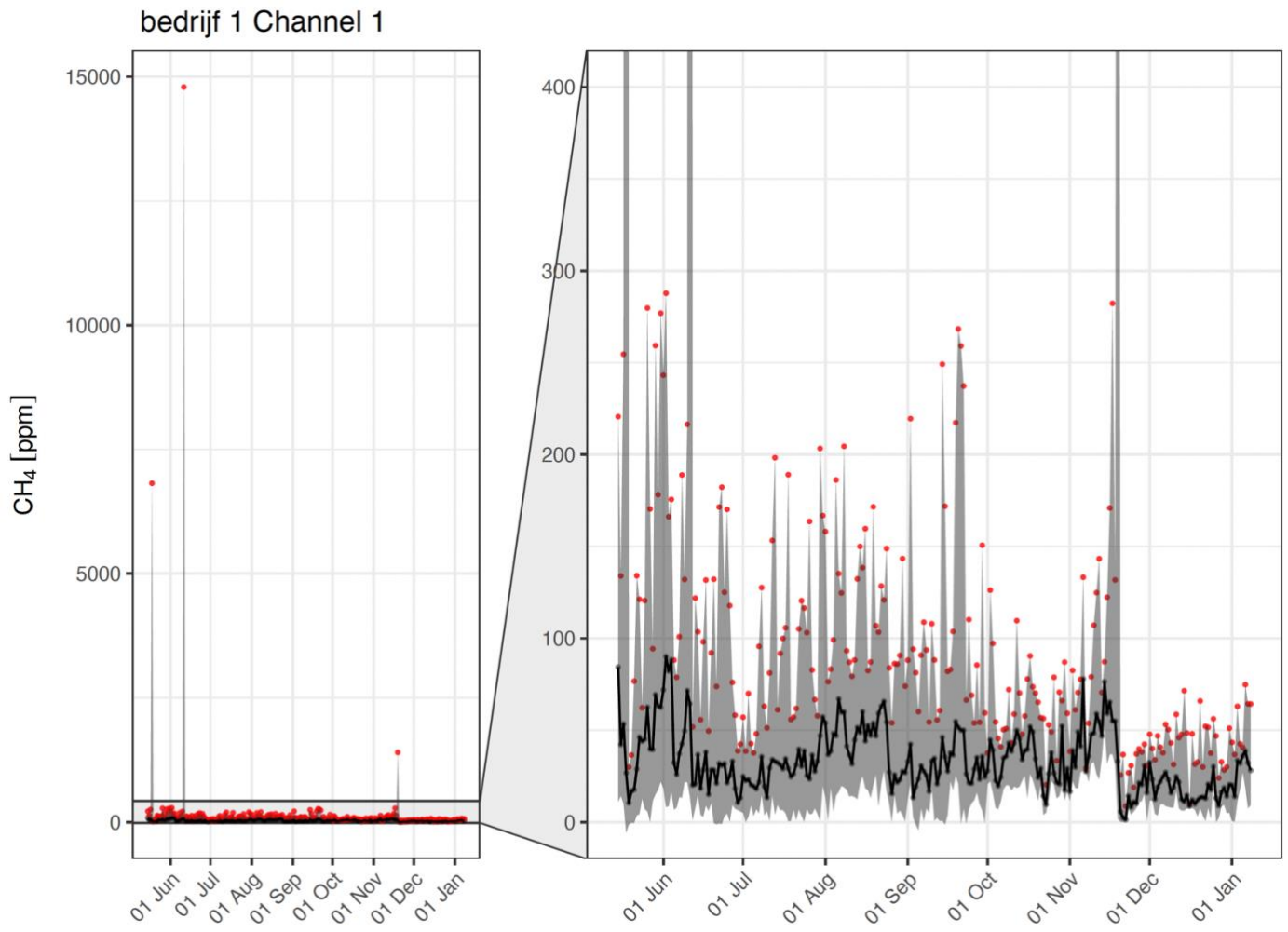


—●— boven  
—●— onder

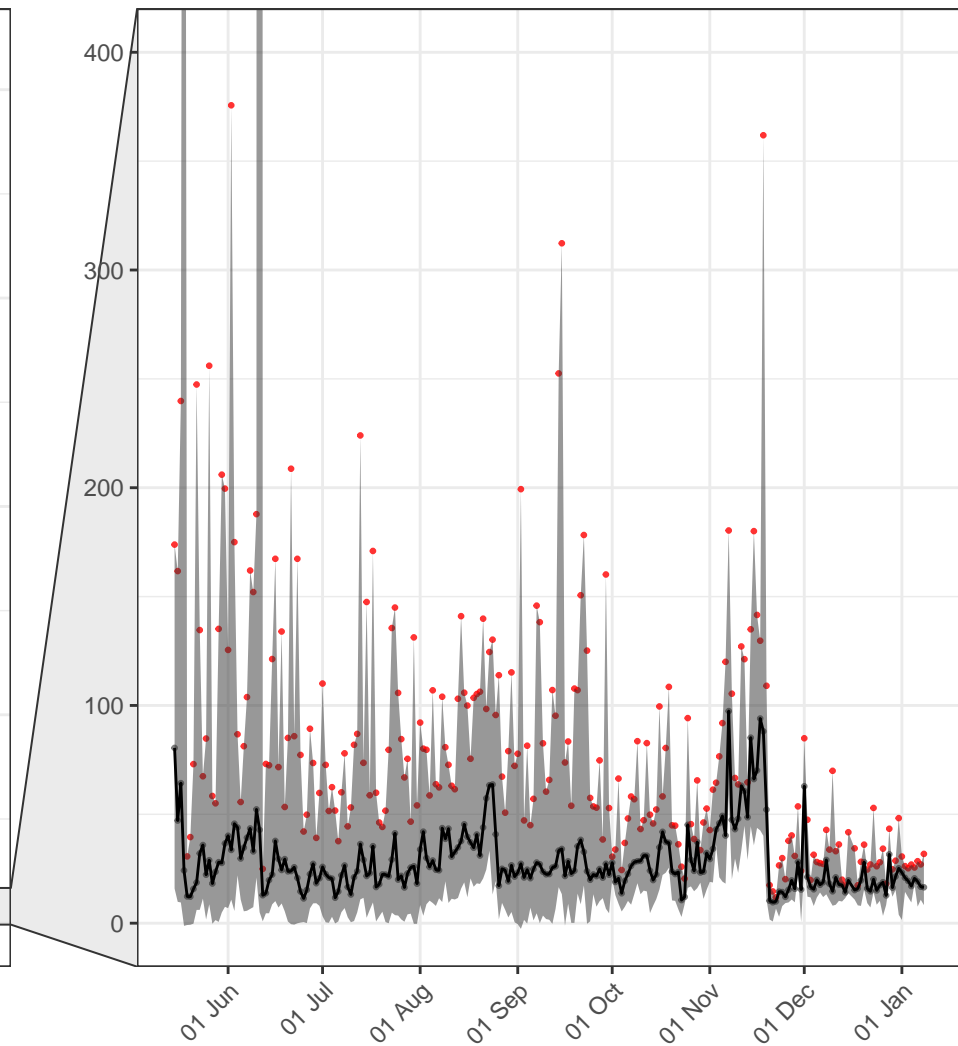
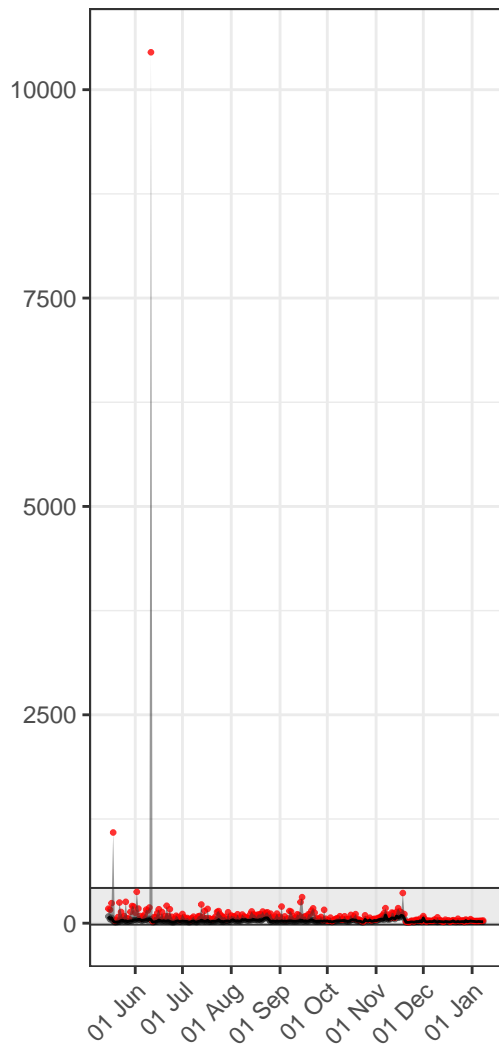
## Bijlage 4: IJkresultaten NH<sub>3</sub>-monitoren



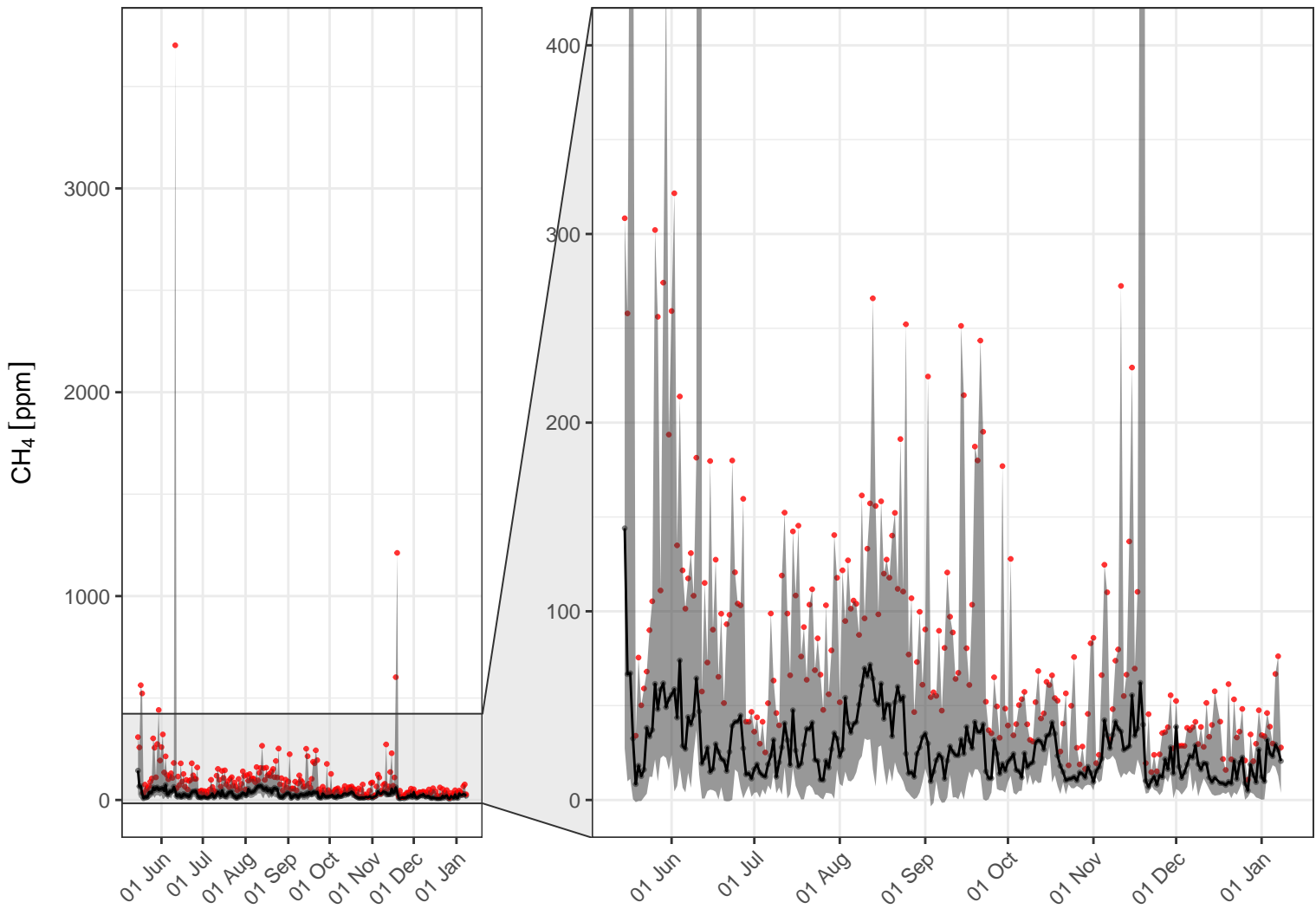
## Bijlage 5: Meetresultaten per kanaal



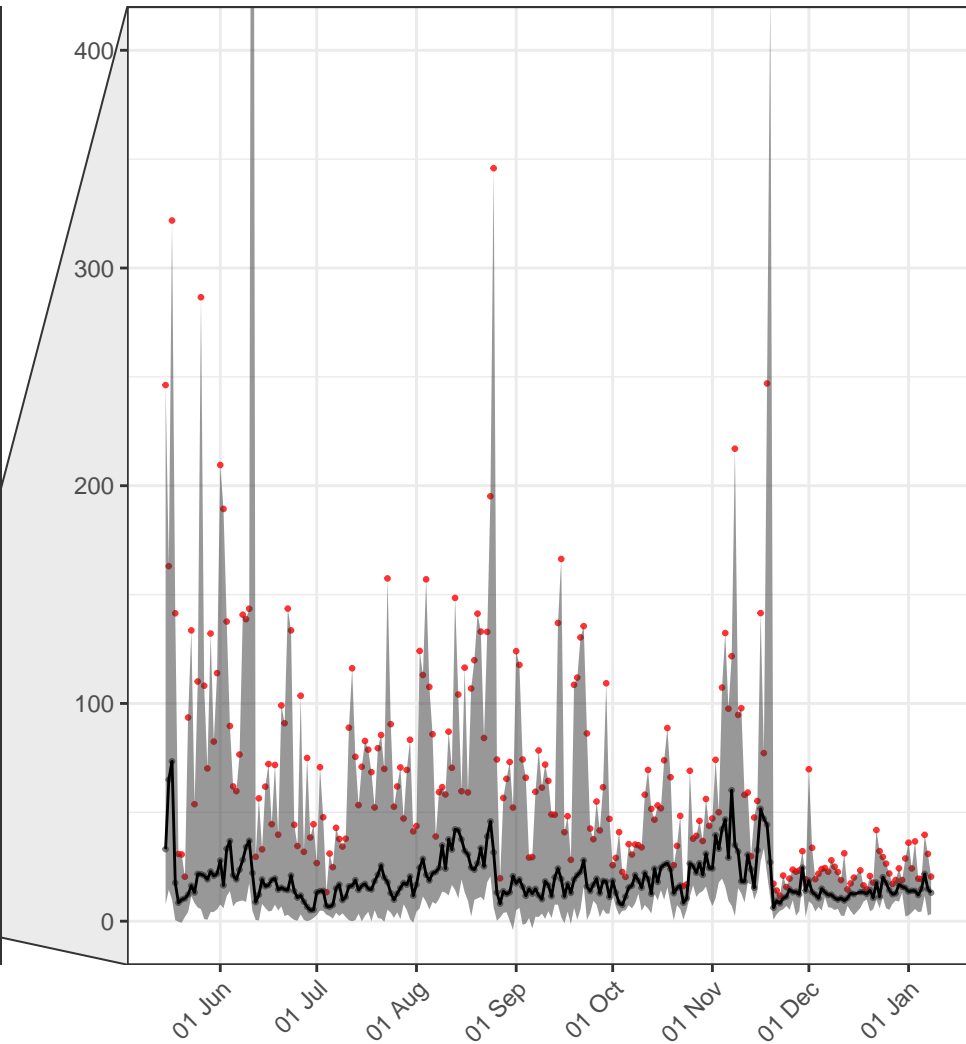
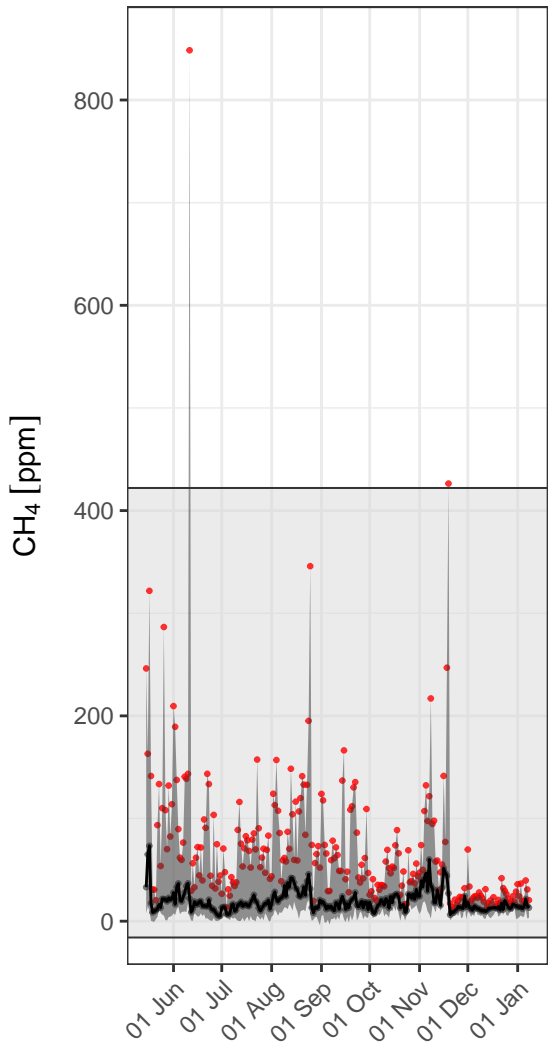
bedrijf 1 Channel 2



bedrijf 1 Channel 3

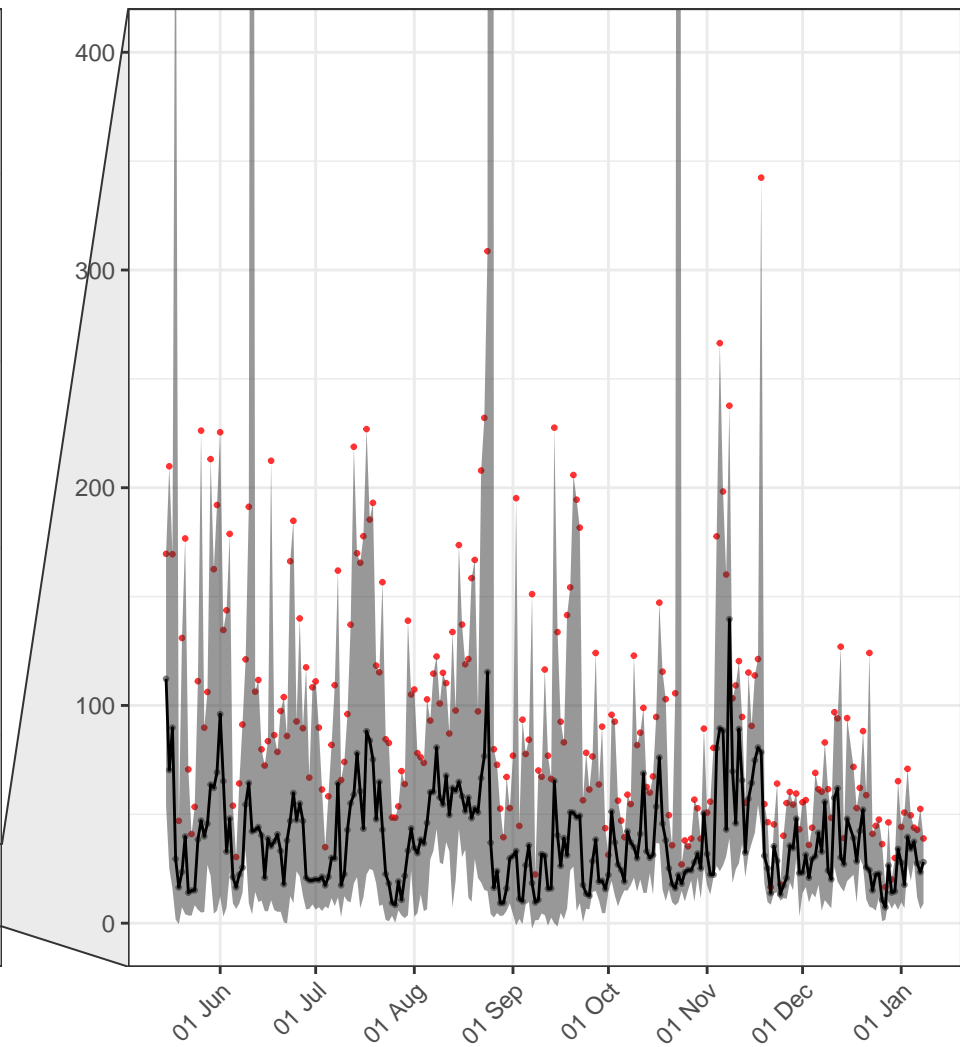
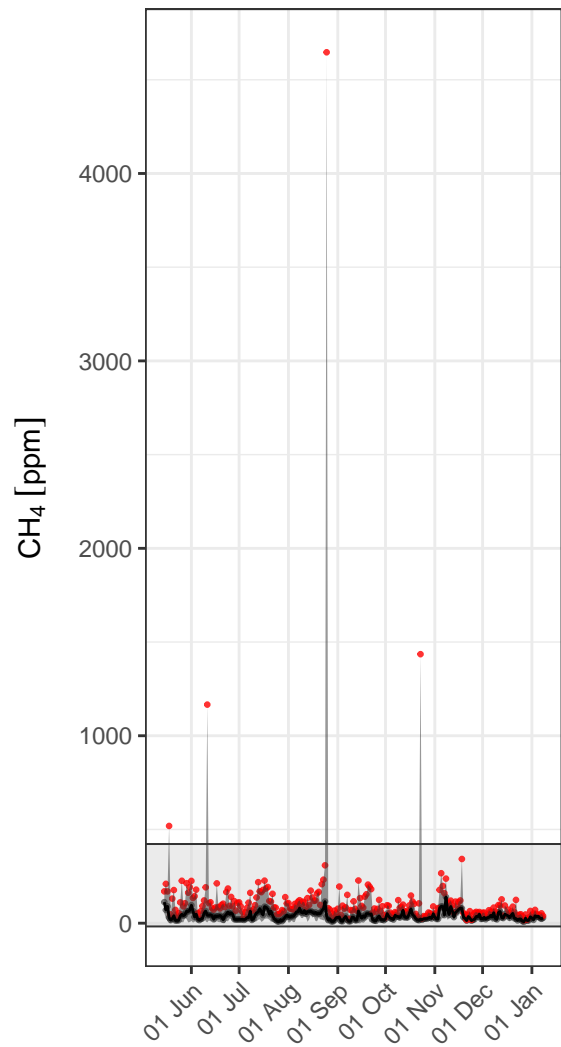


bedrijf 1 Channel 4

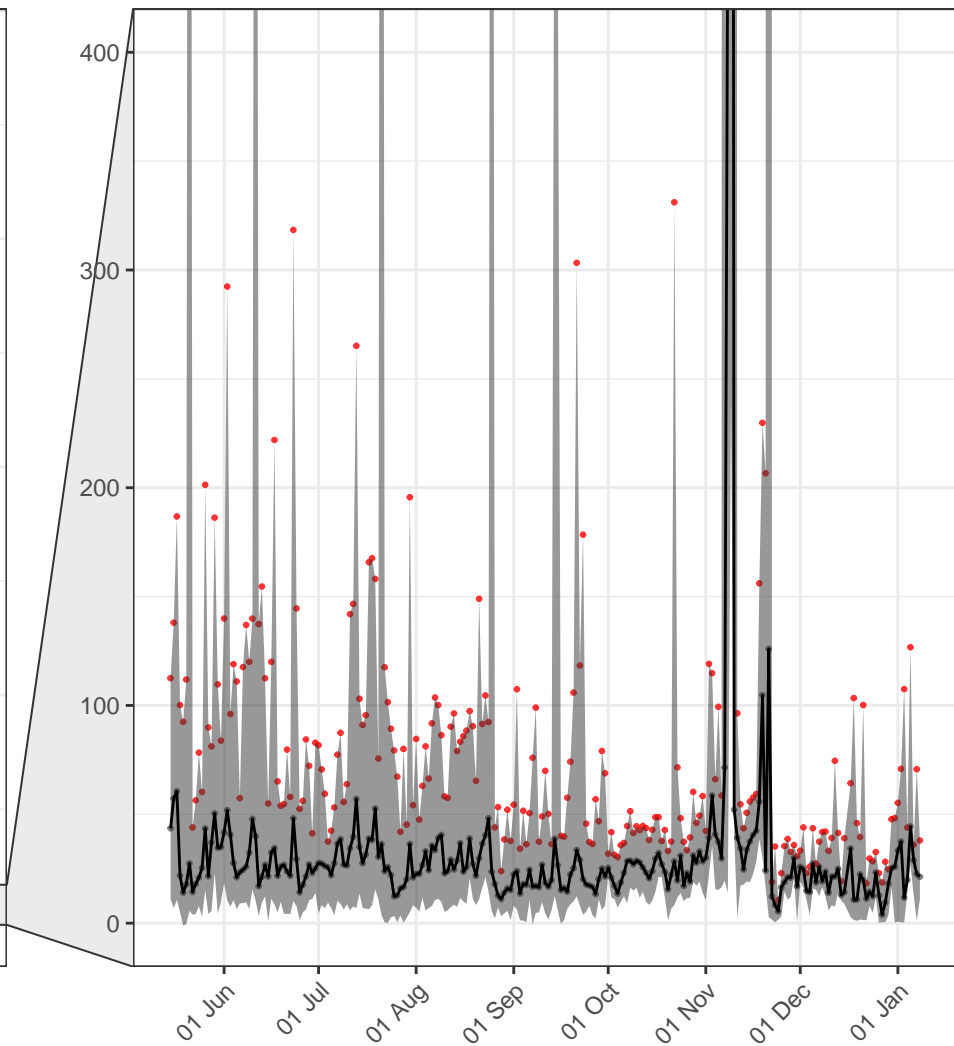
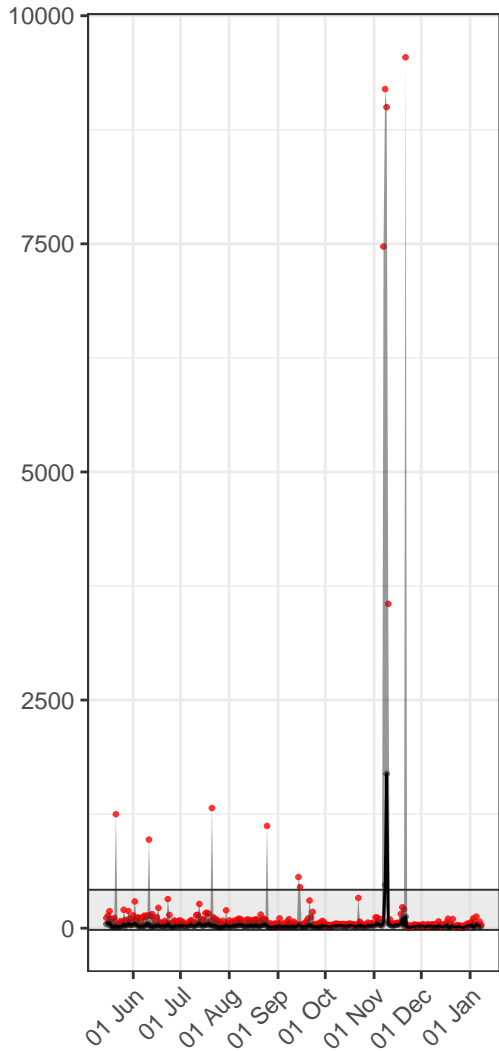




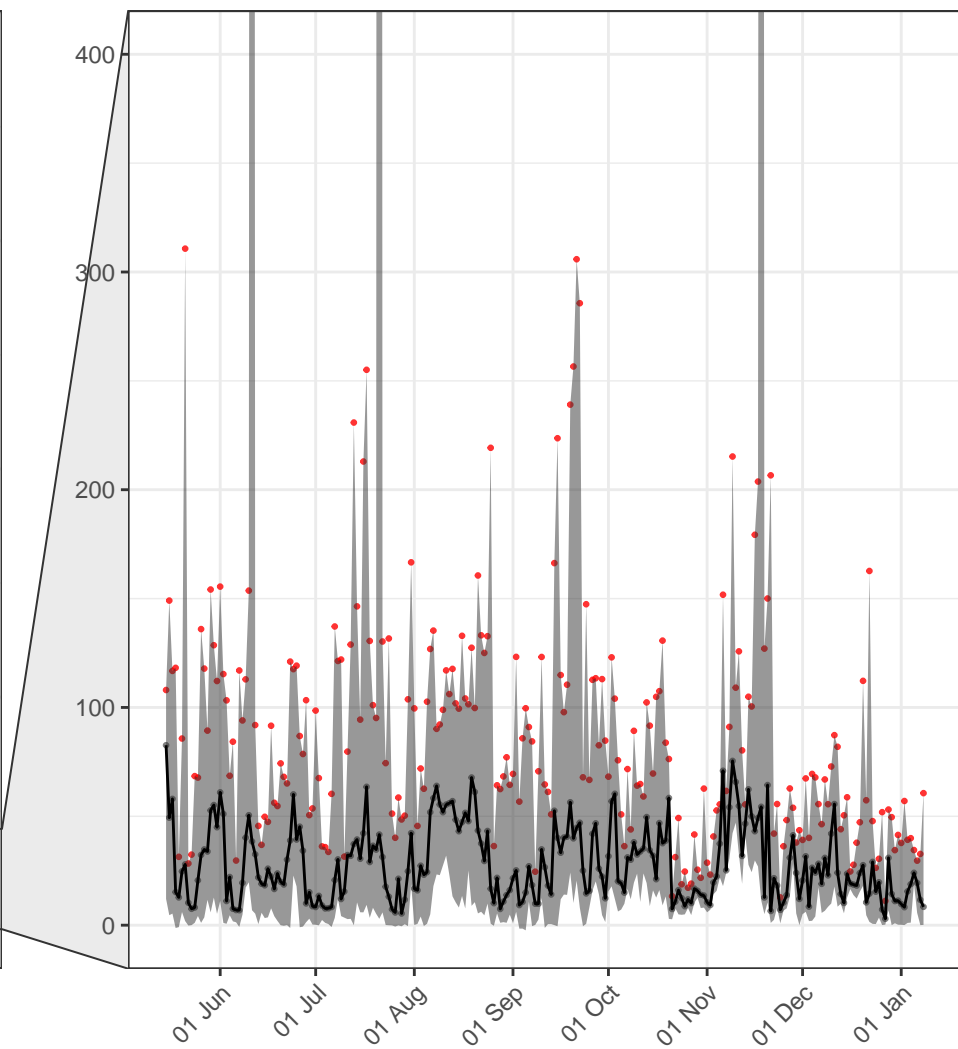
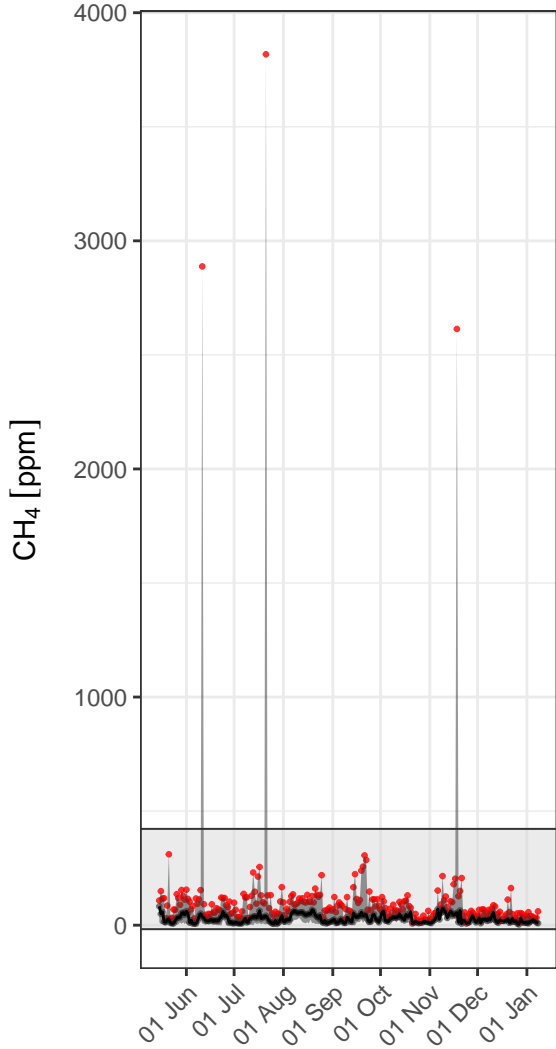
bedrijf 1 Channel 5



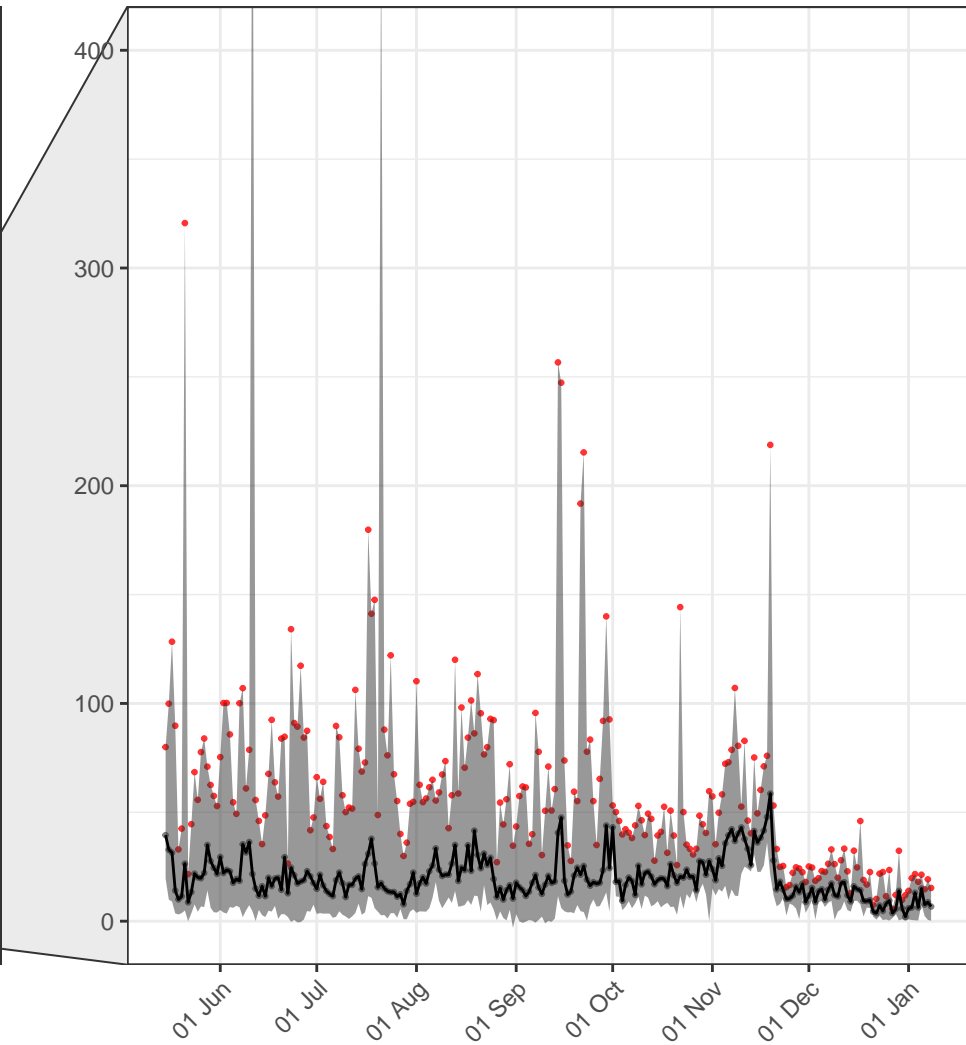
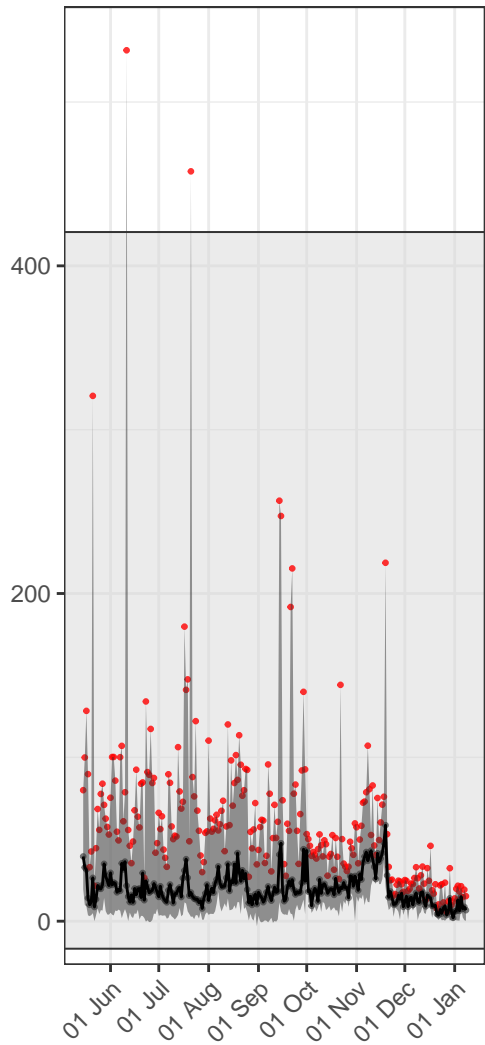
bedrijf 1 Channel 6



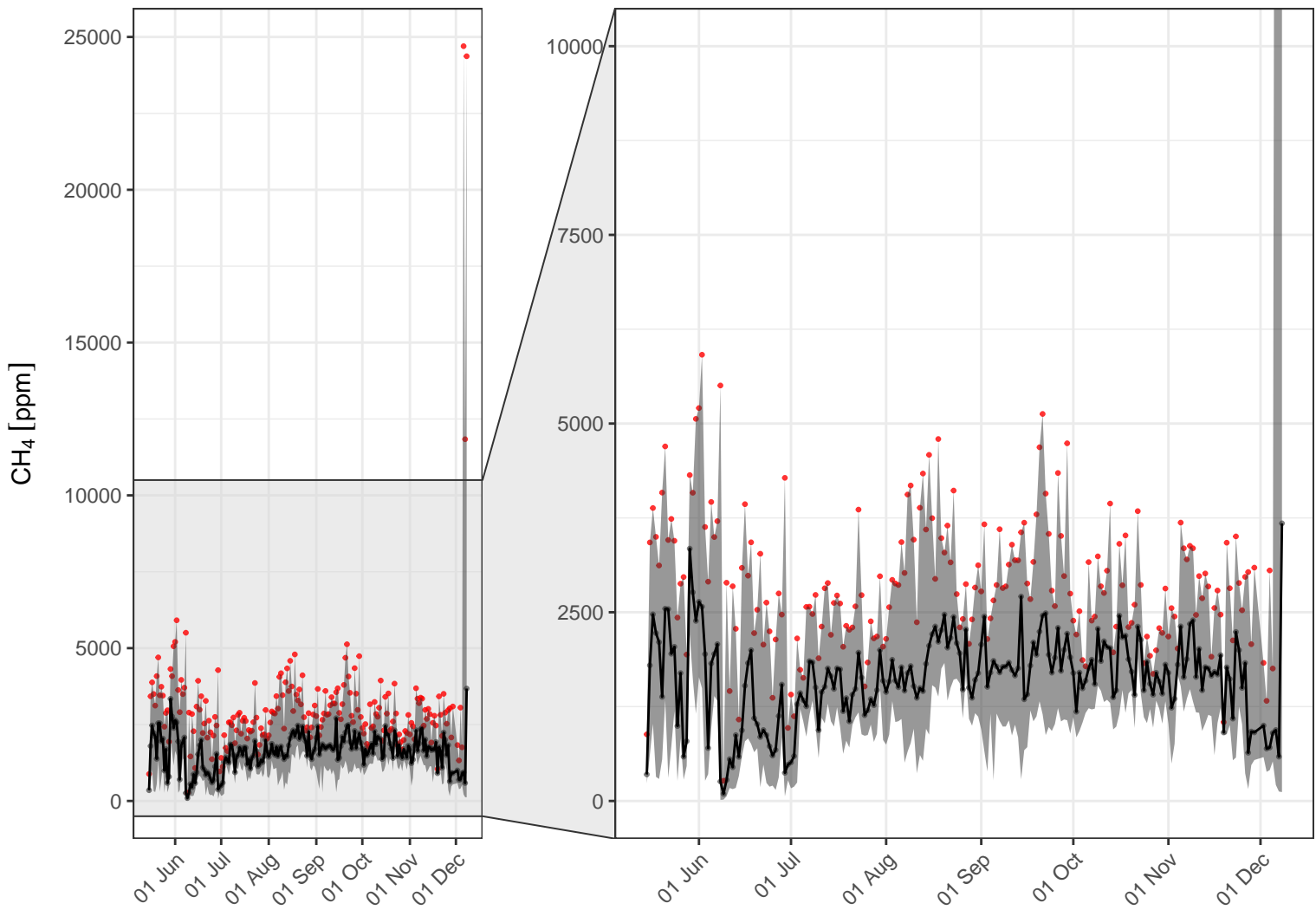
# bedrijf 1 Channel 7



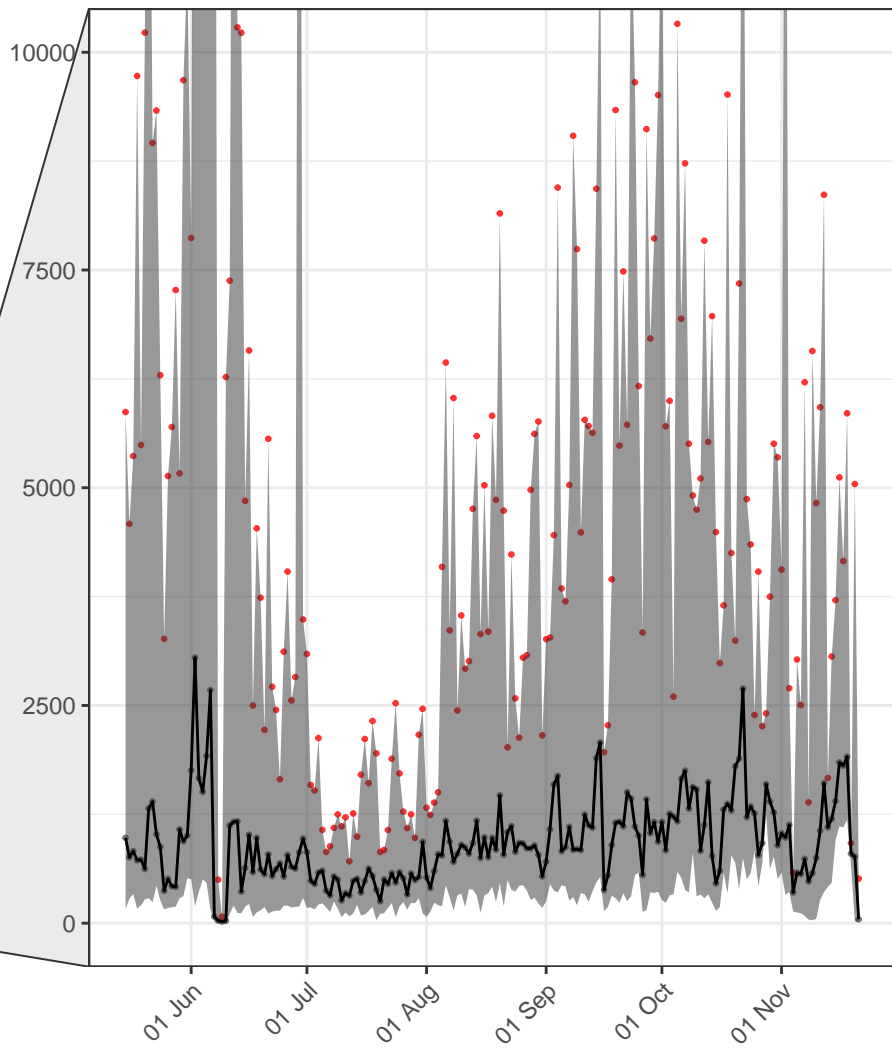
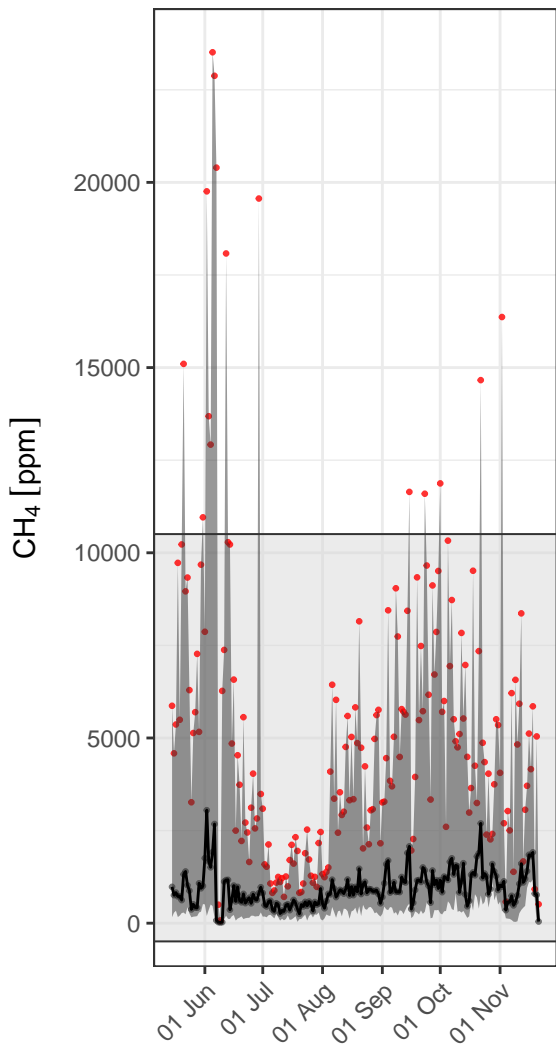
bedrijf 1 Channel 8



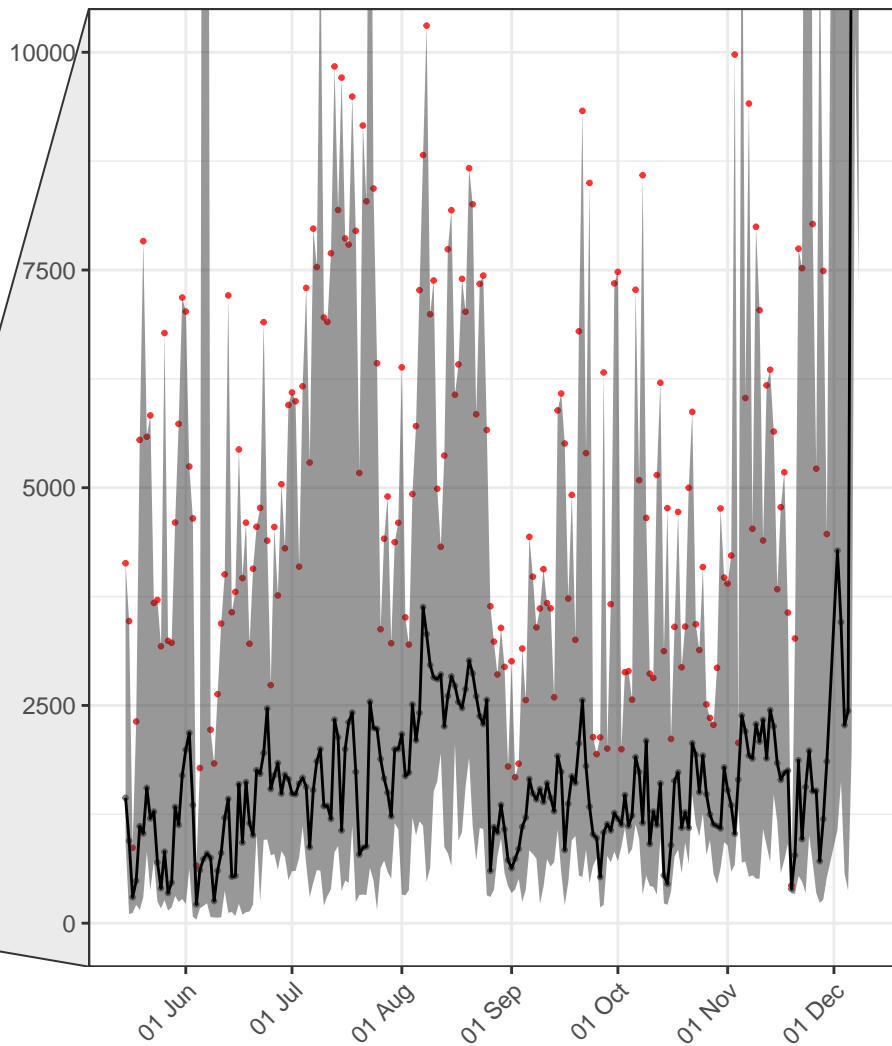
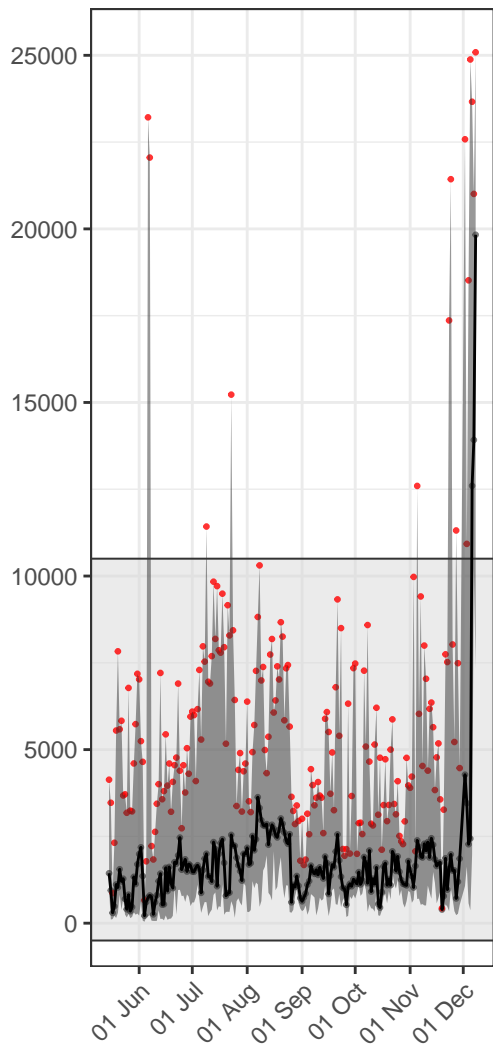
bedrijf 2 Channel 1



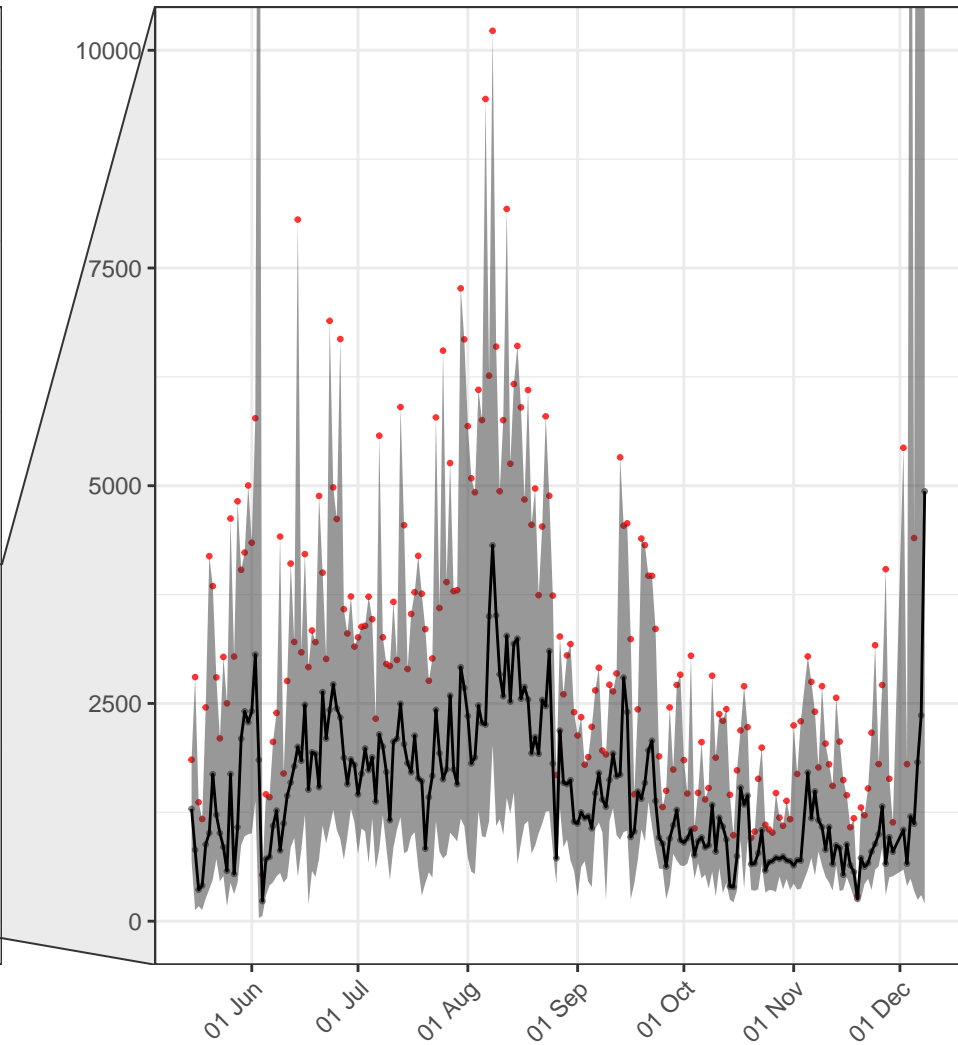
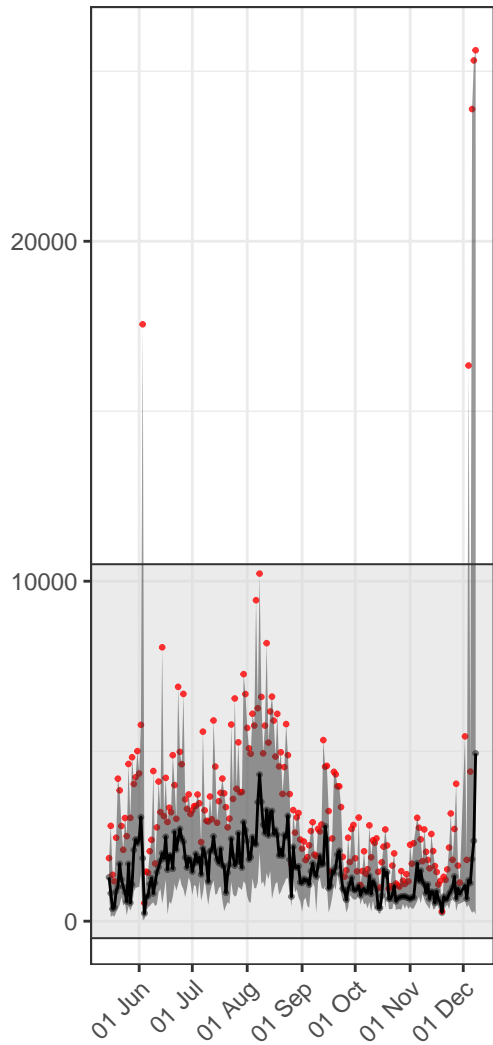
bedrijf 2 Channel 2



bedrijf 2 Channel 3

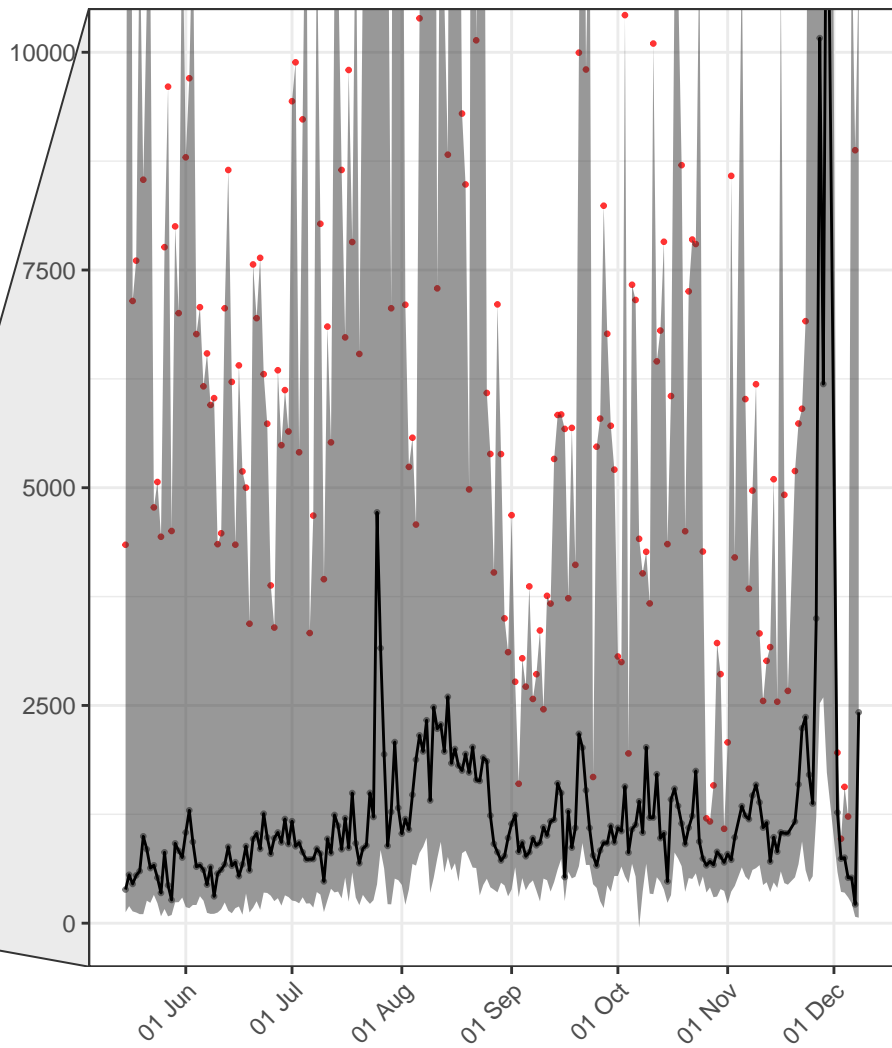
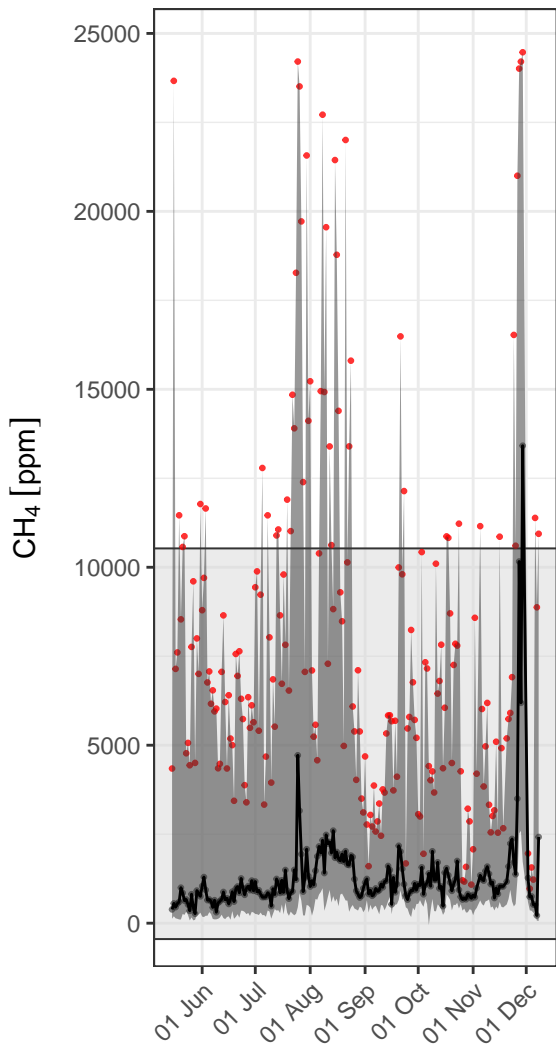


bedrijf 2 Channel 4

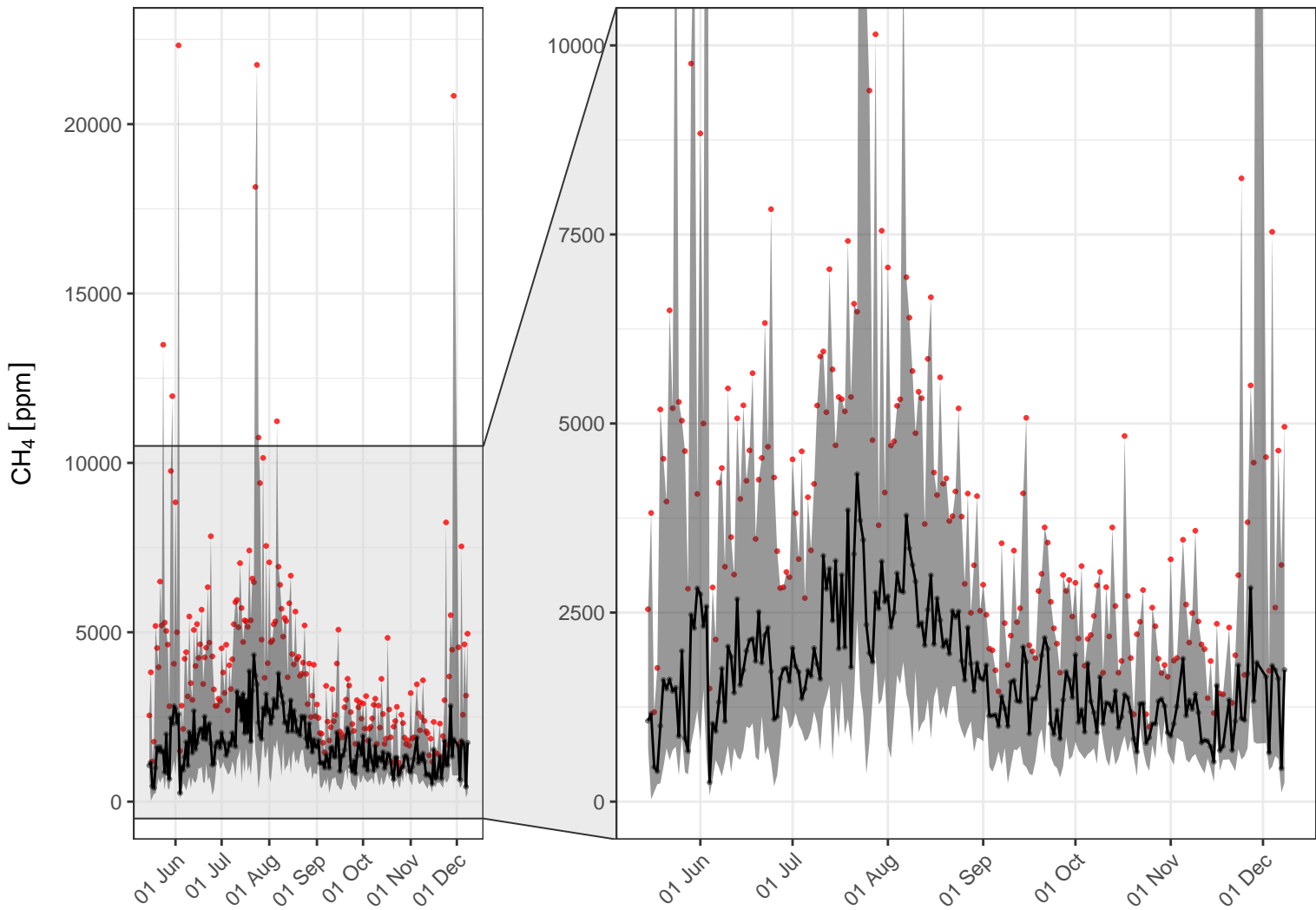




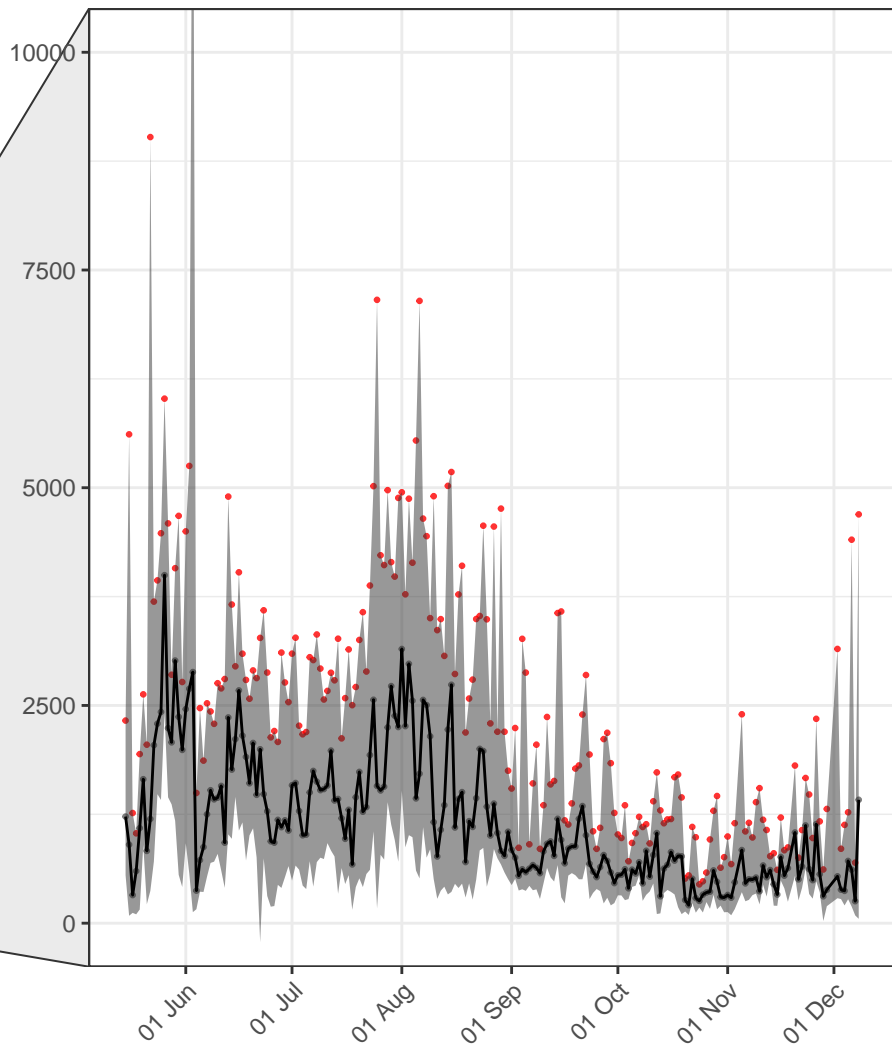
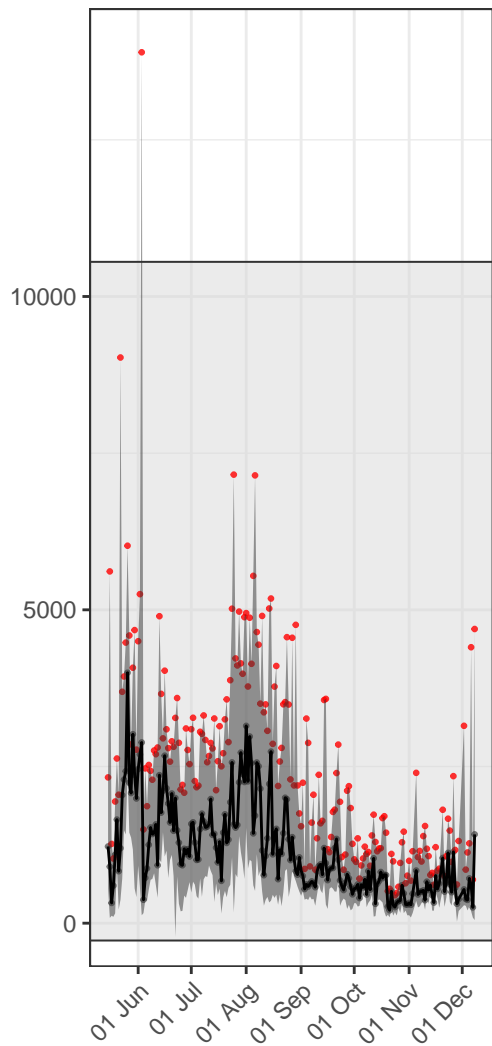
bedrijf 2 Channel 5



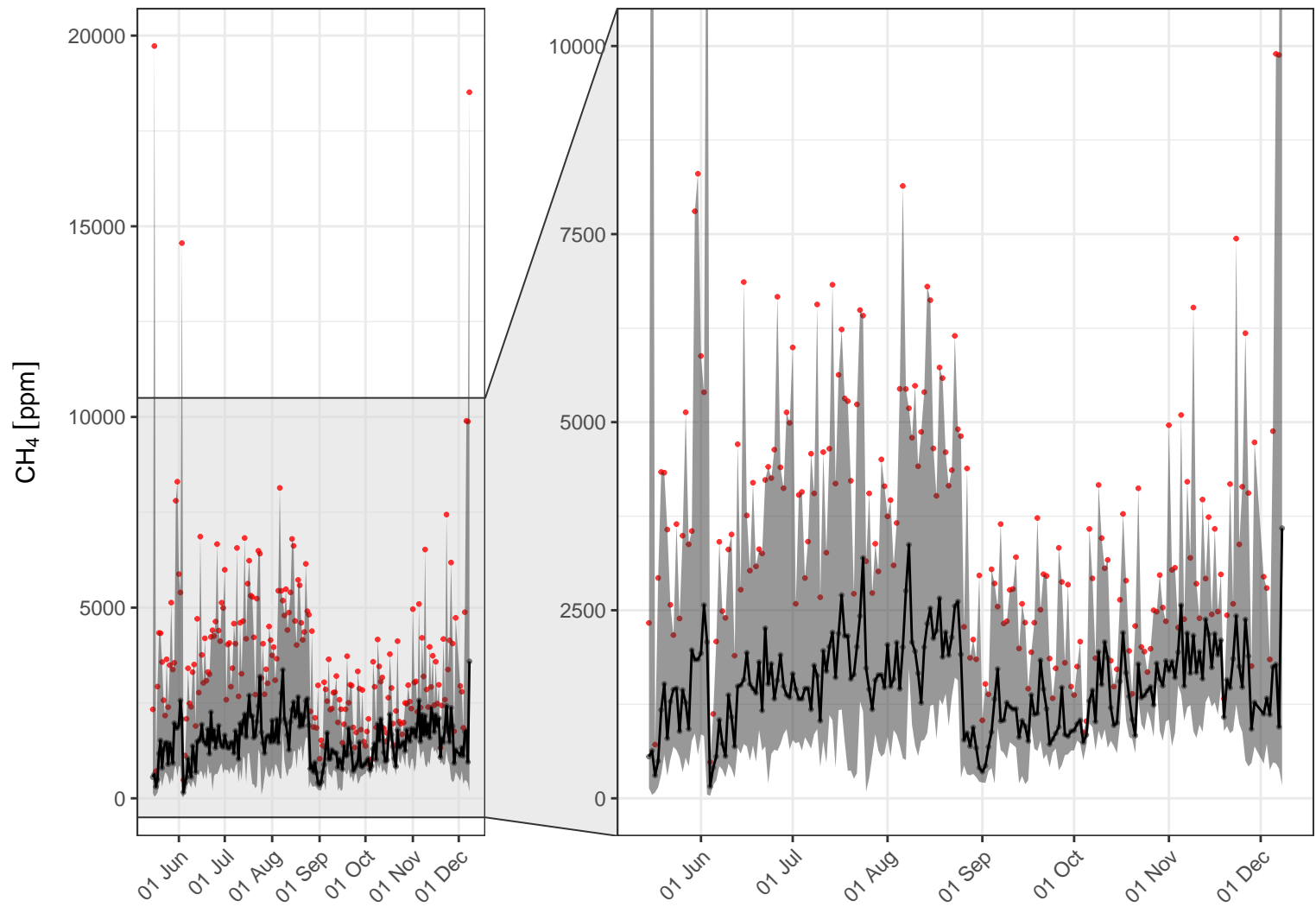
bedrijf 2 Channel 6



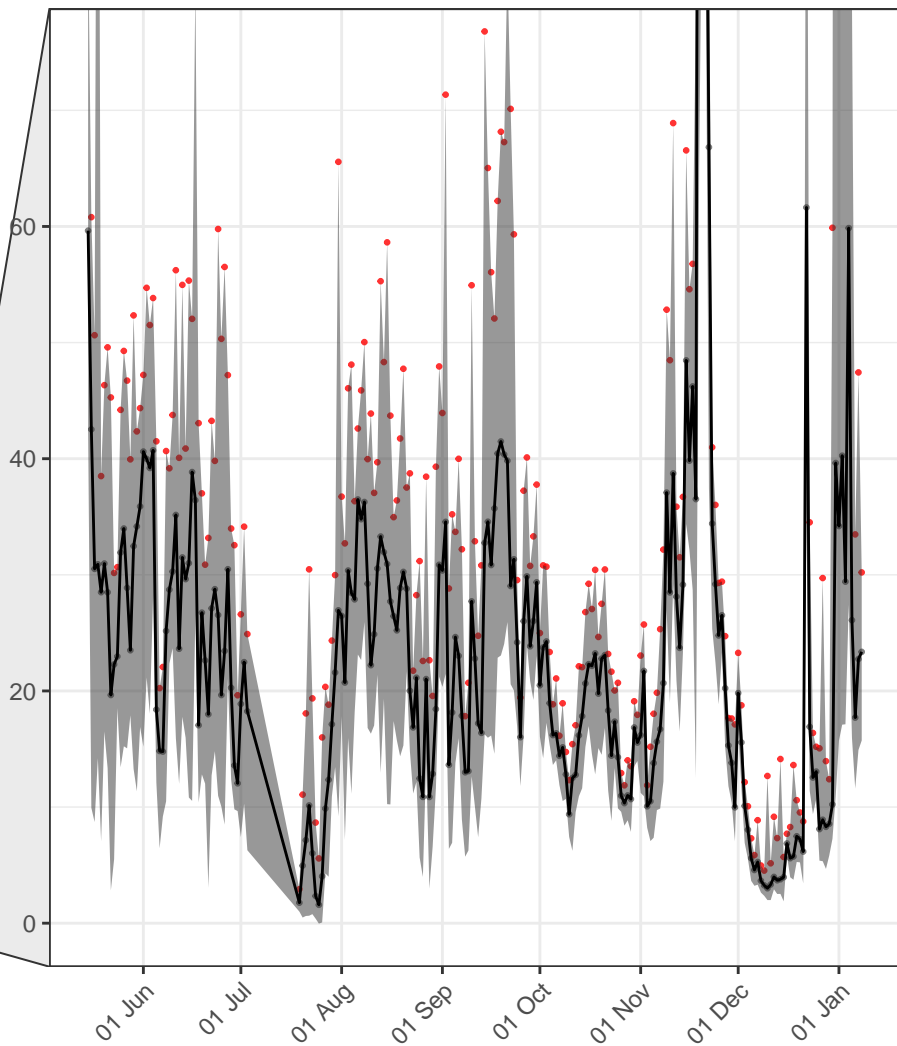
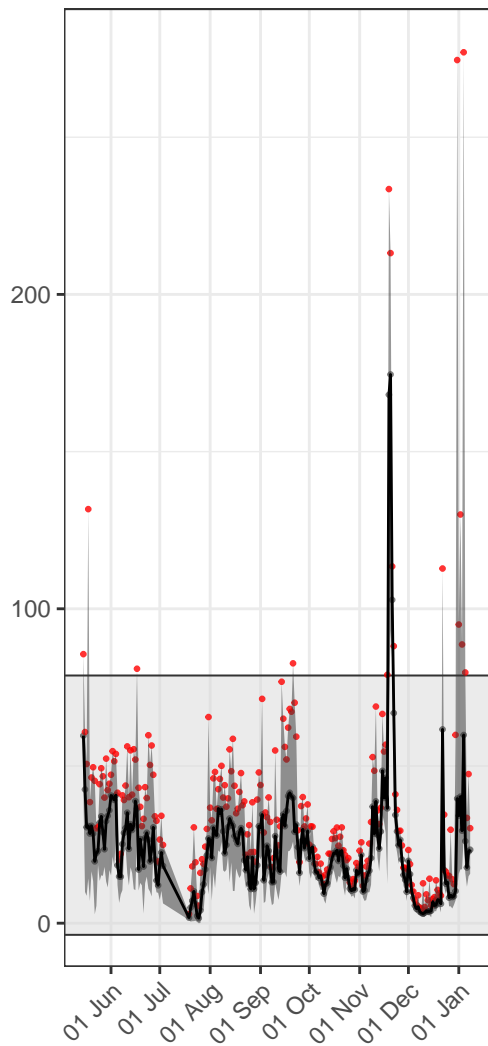
bedrijf 2 Channel 7



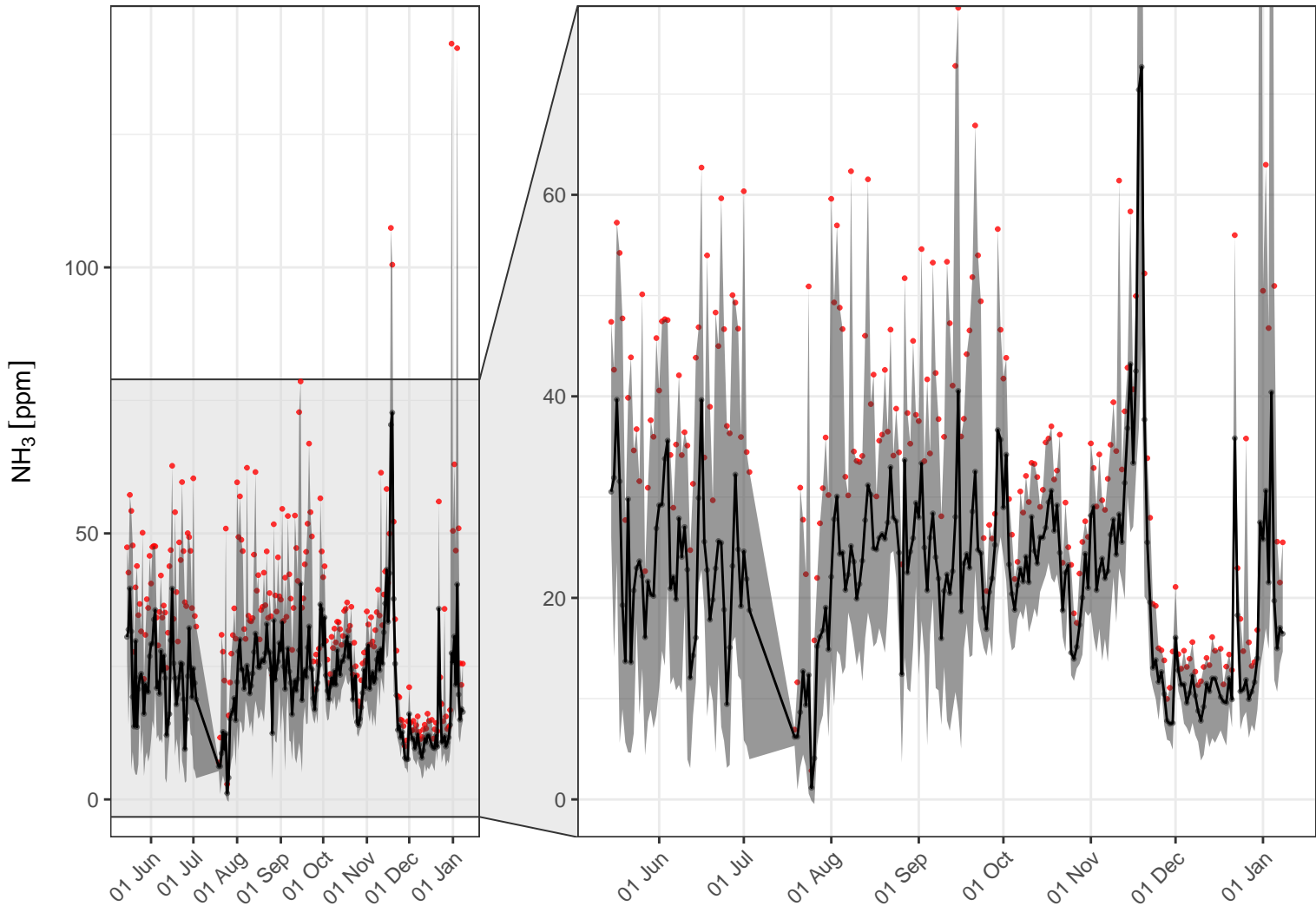
bedrijf 2 Channel 8



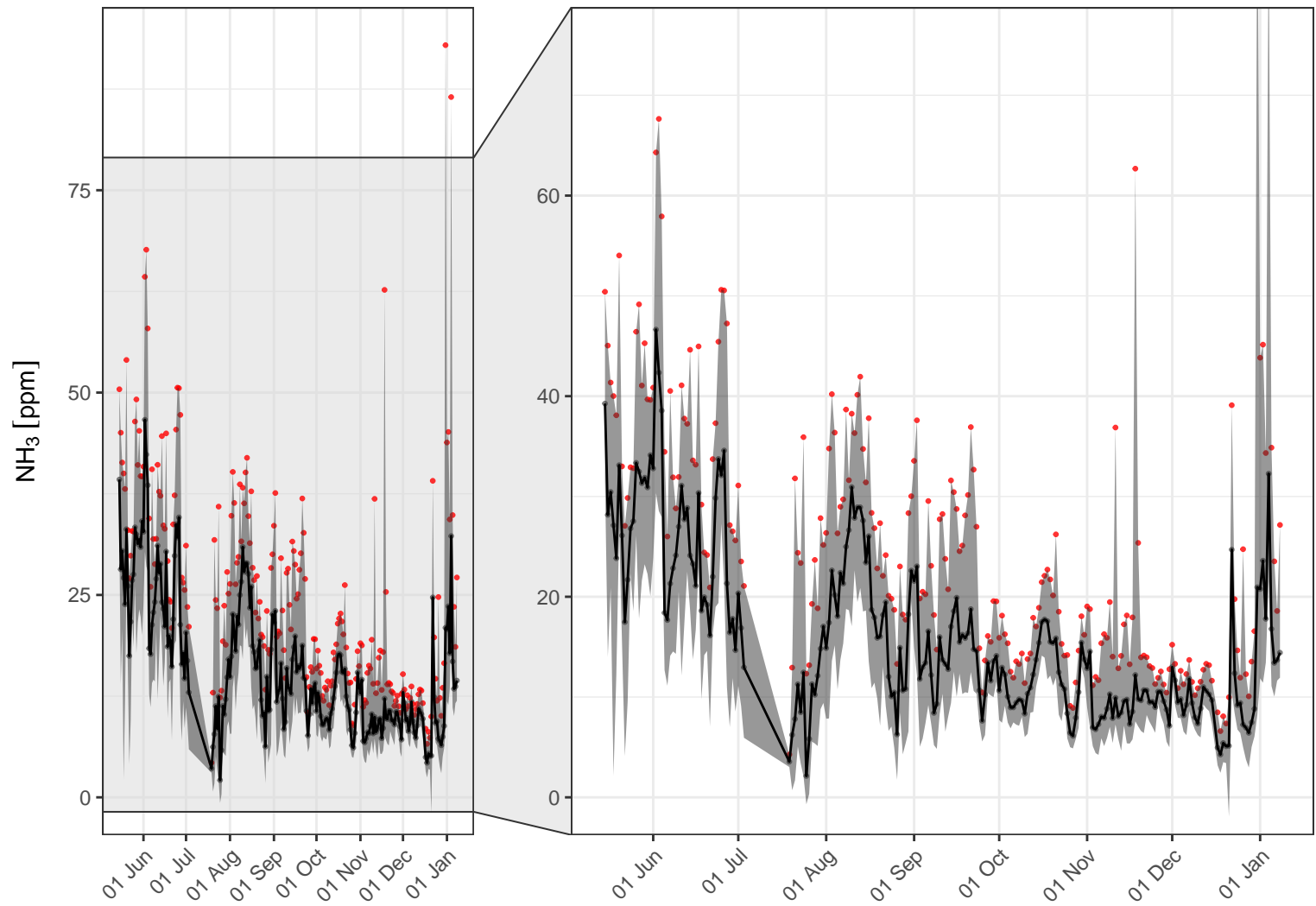
bedrijf 1 Channel 1



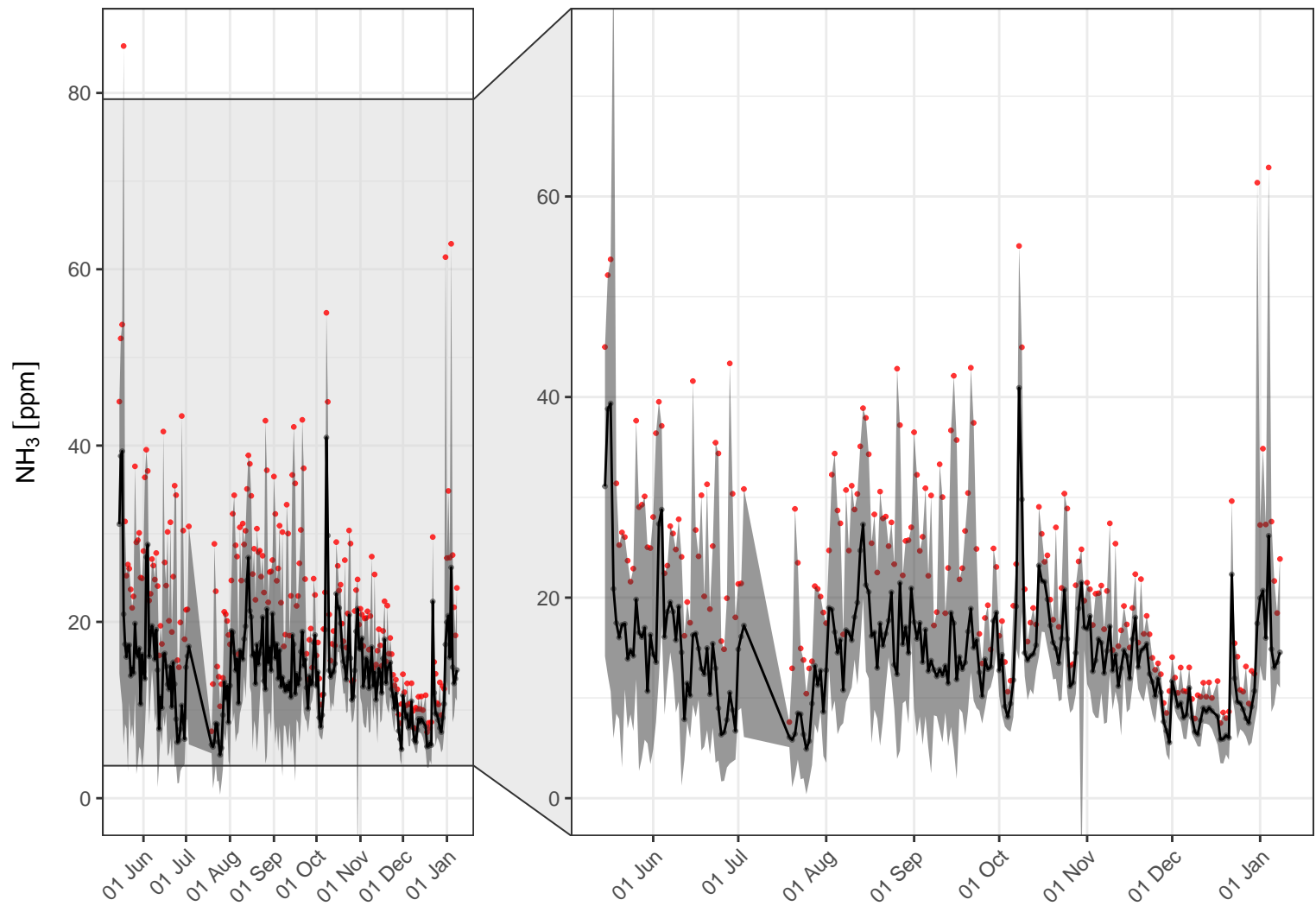
bedrijf 1 Channel 2



# bedrijf 1 Channel 3

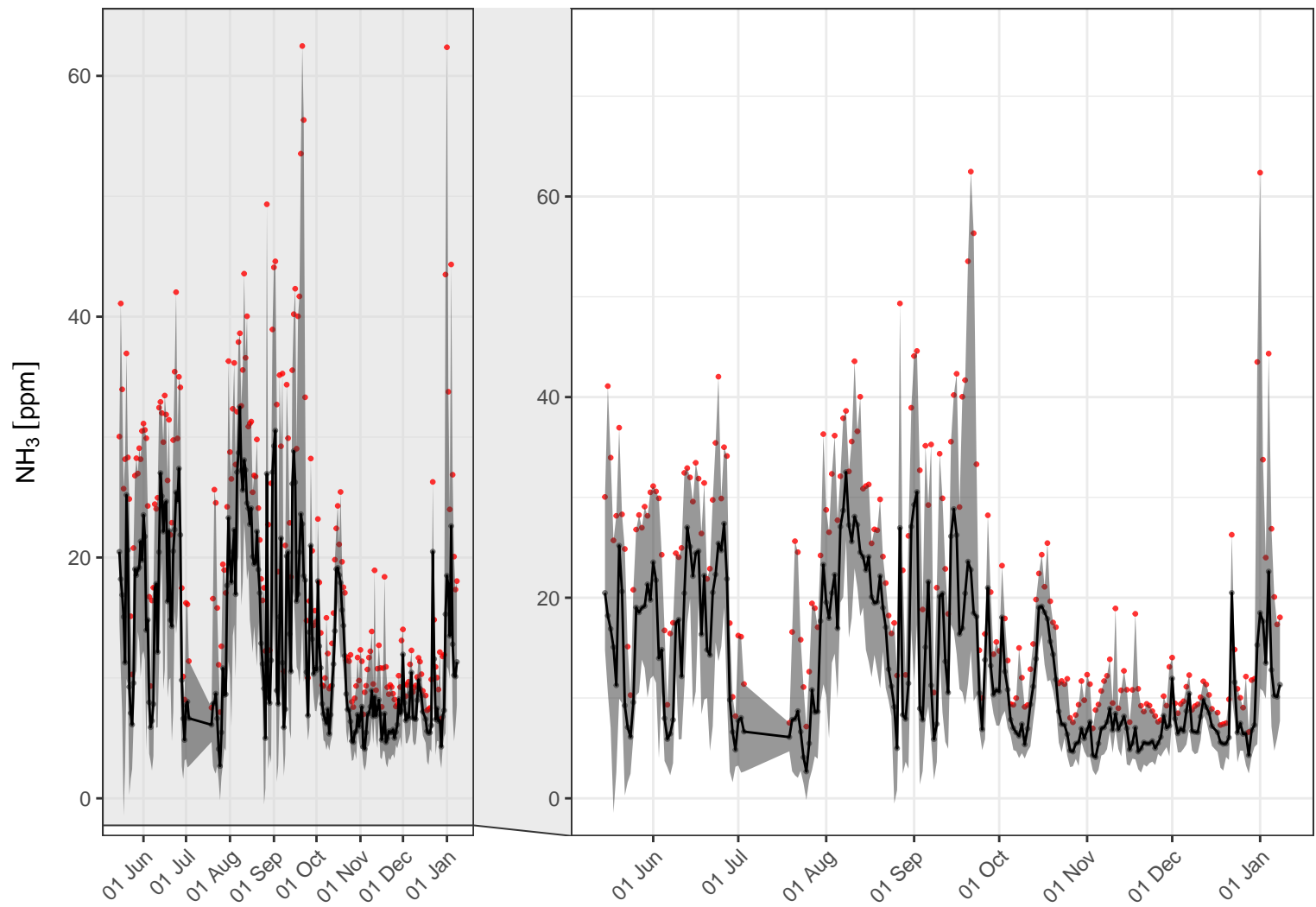


bedrijf 1 Channel 4

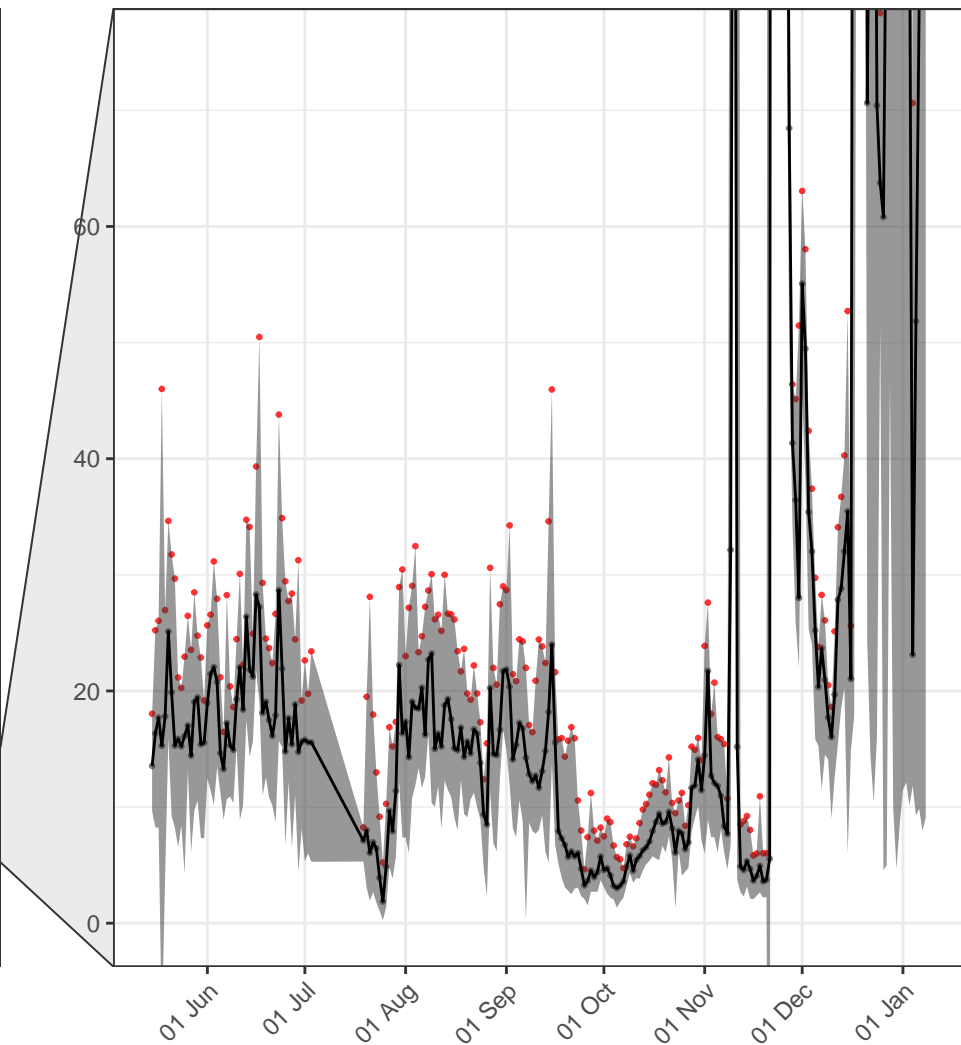
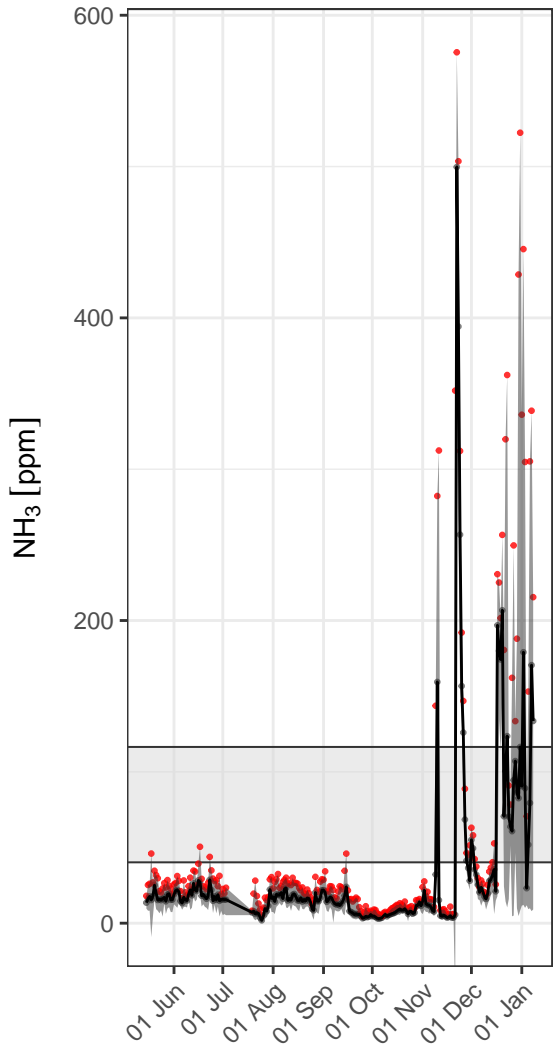




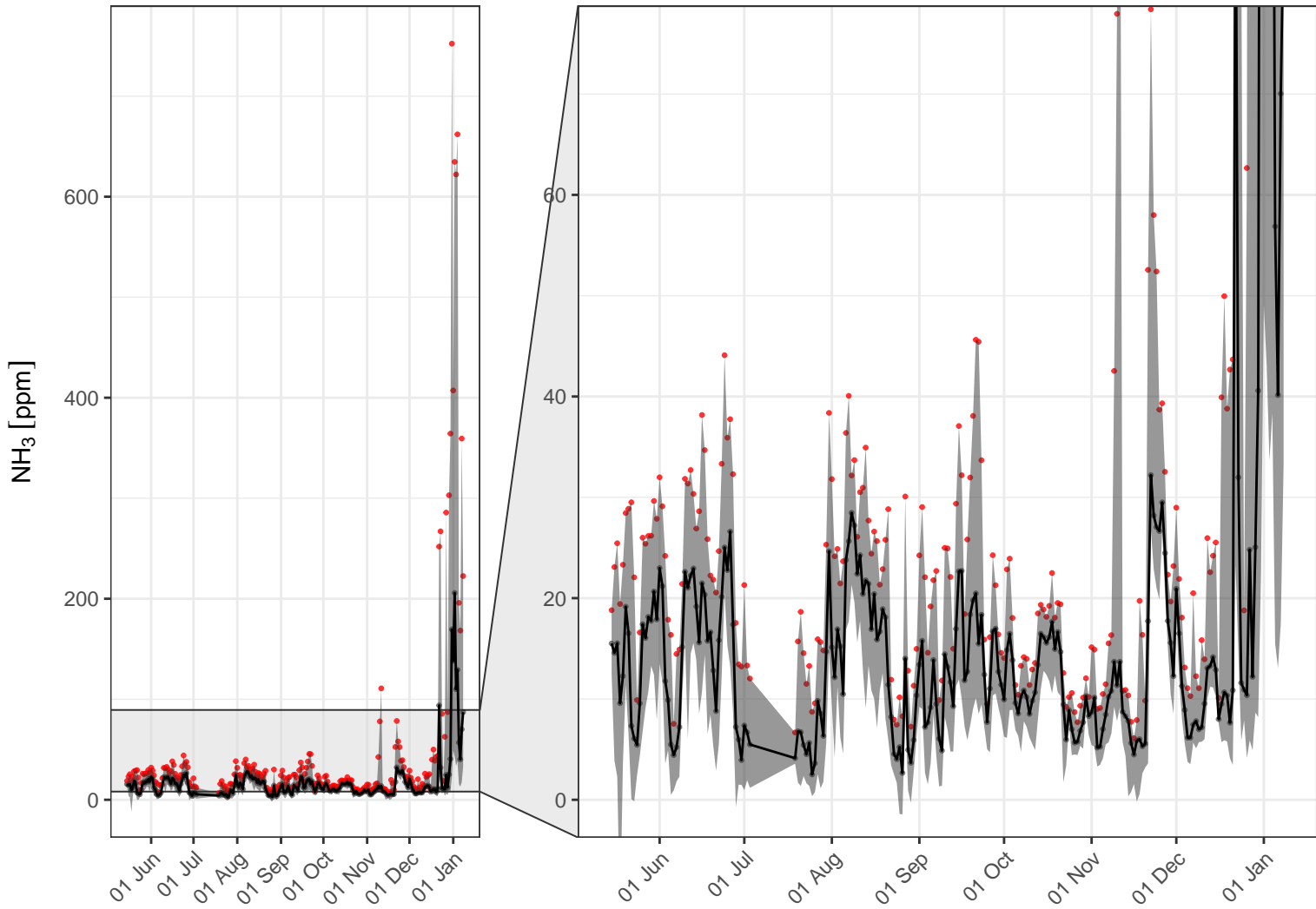
# bedrijf 1 Channel 5



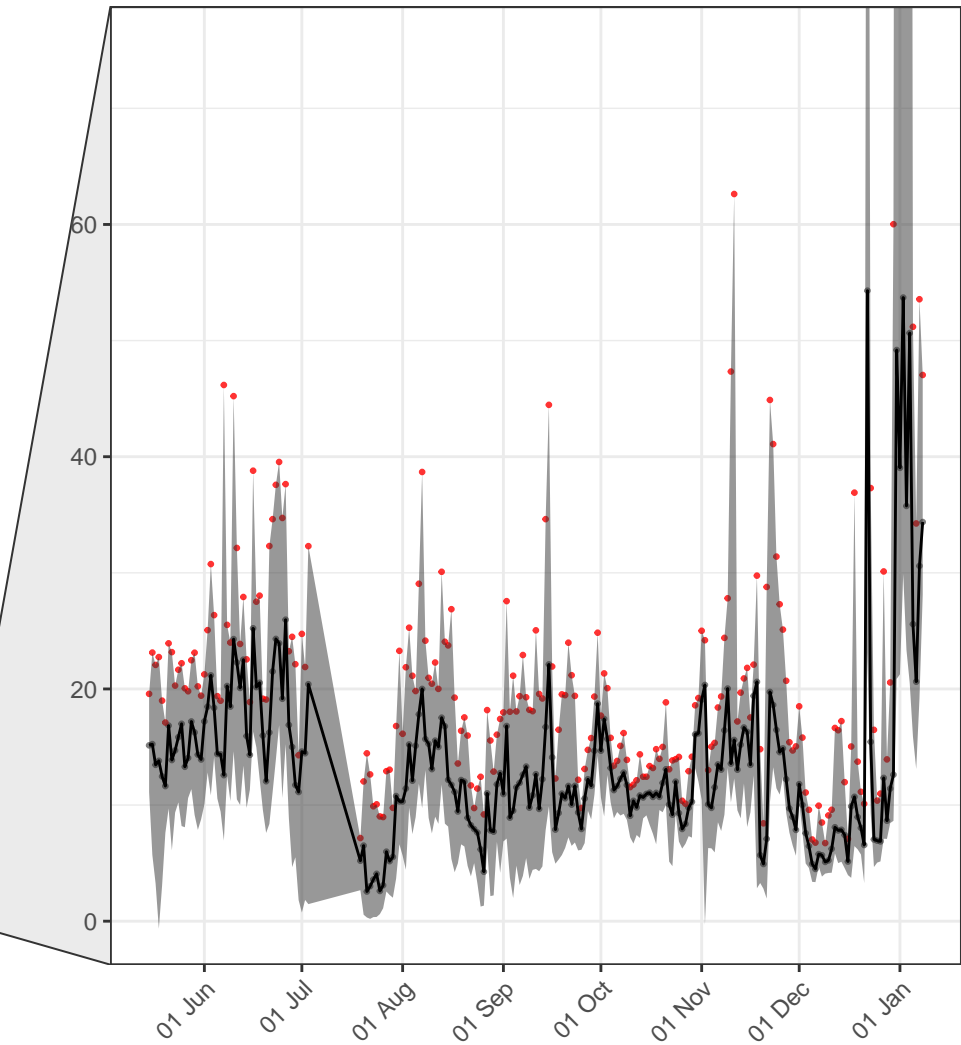
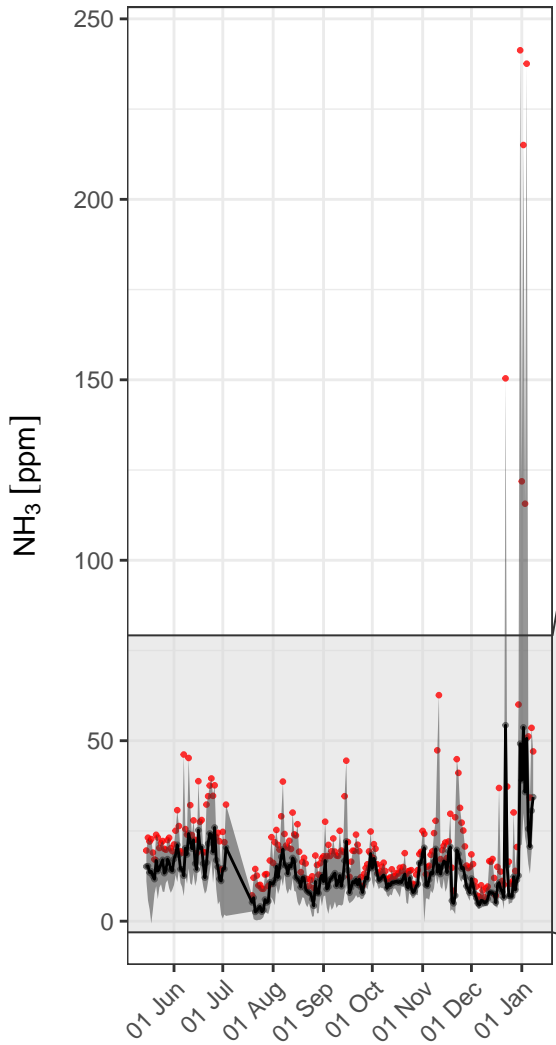
bedrijf 1 Channel 6



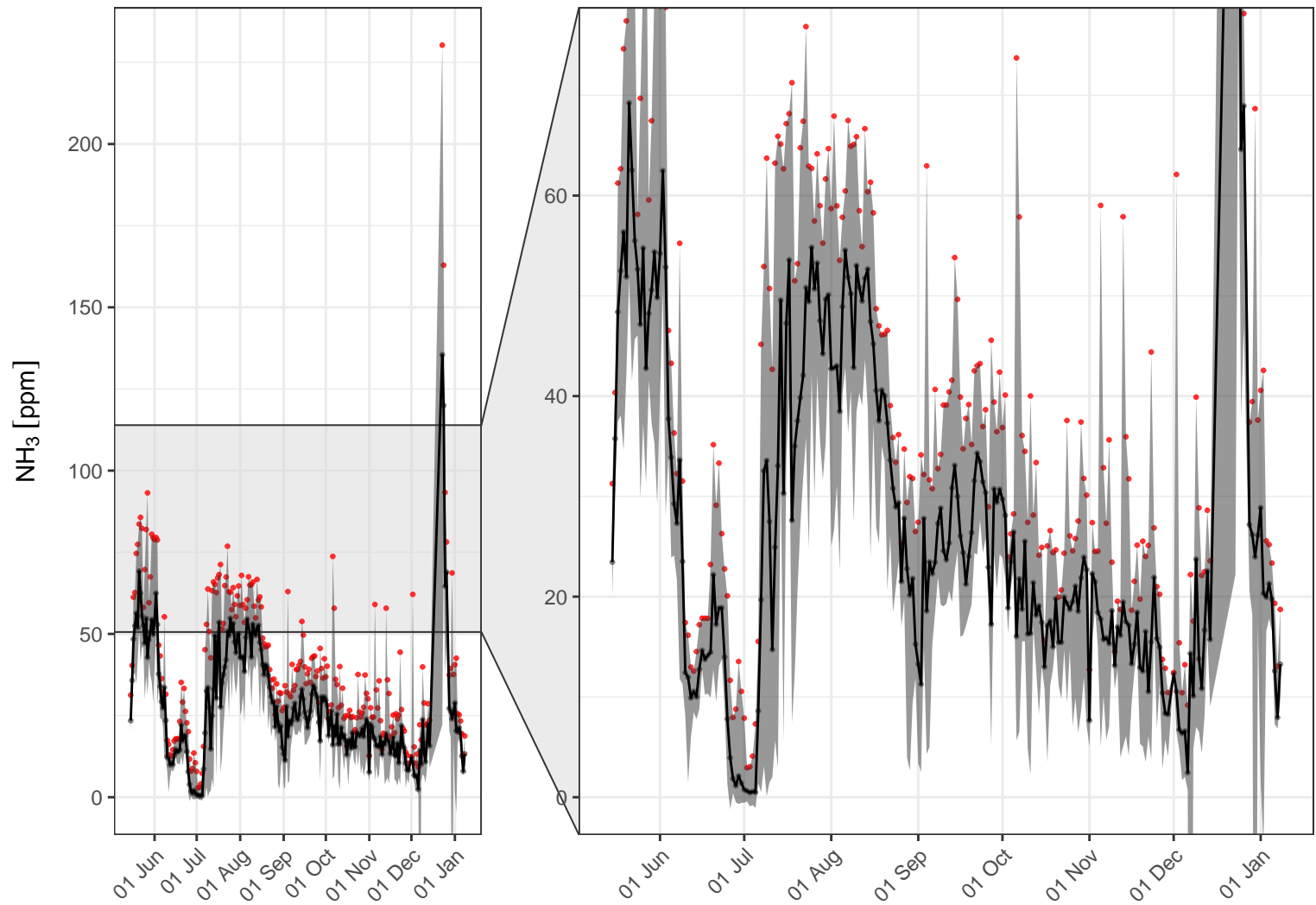
bedrijf 1 Channel 7



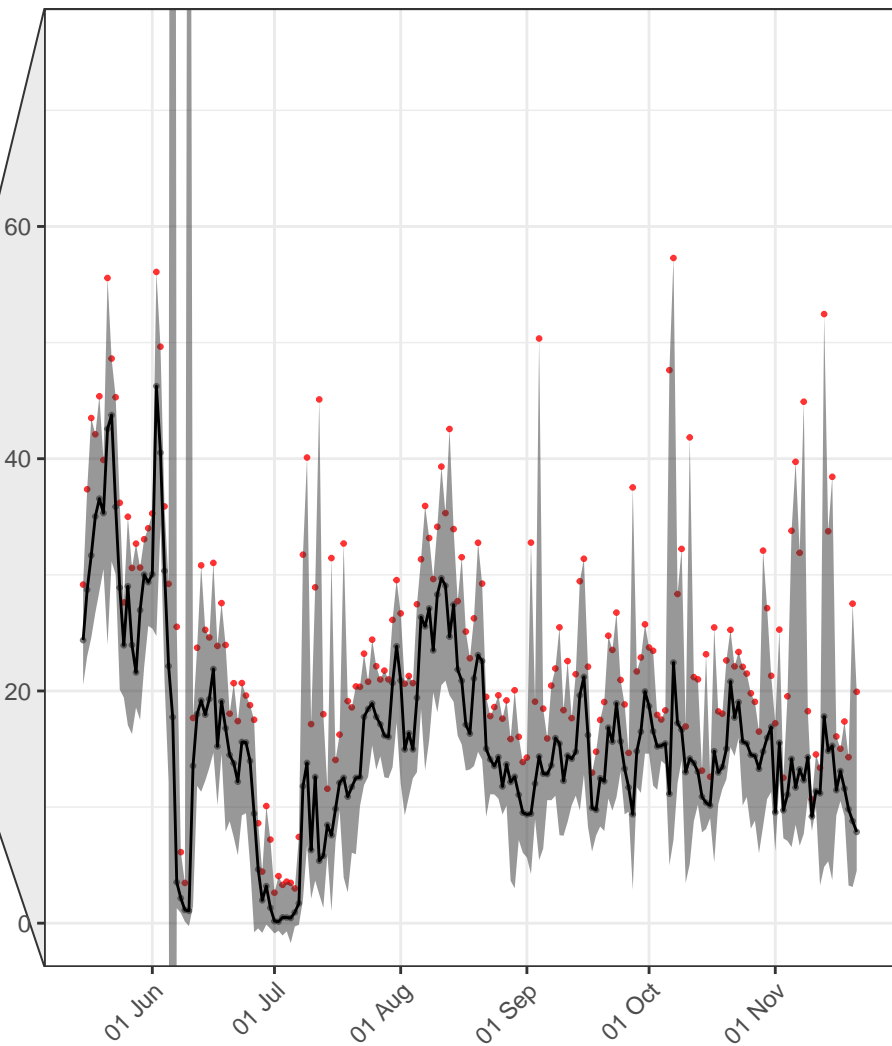
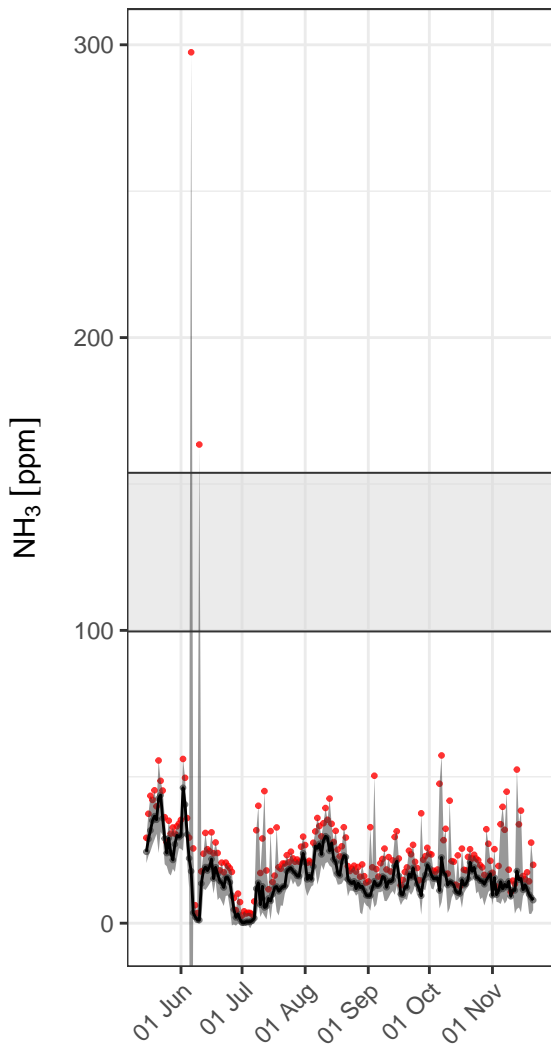
bedrijf 1 Channel 8



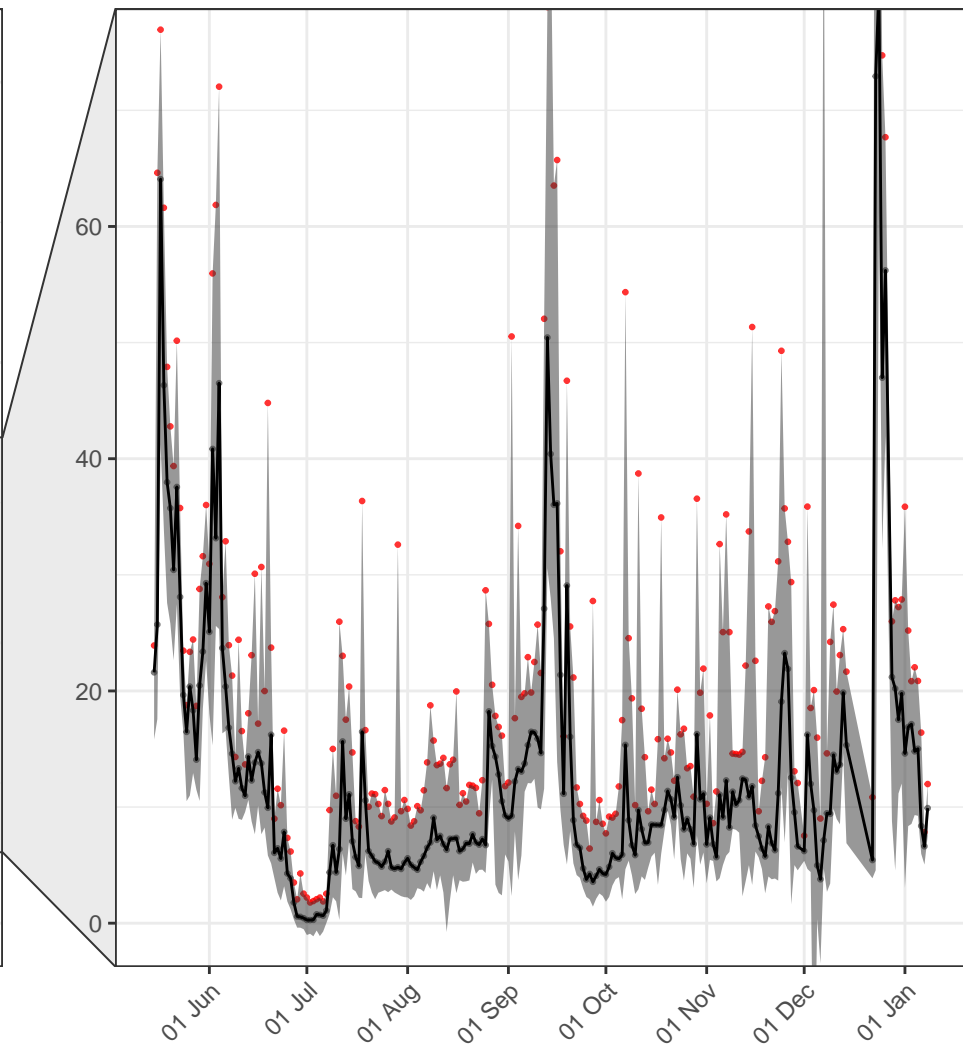
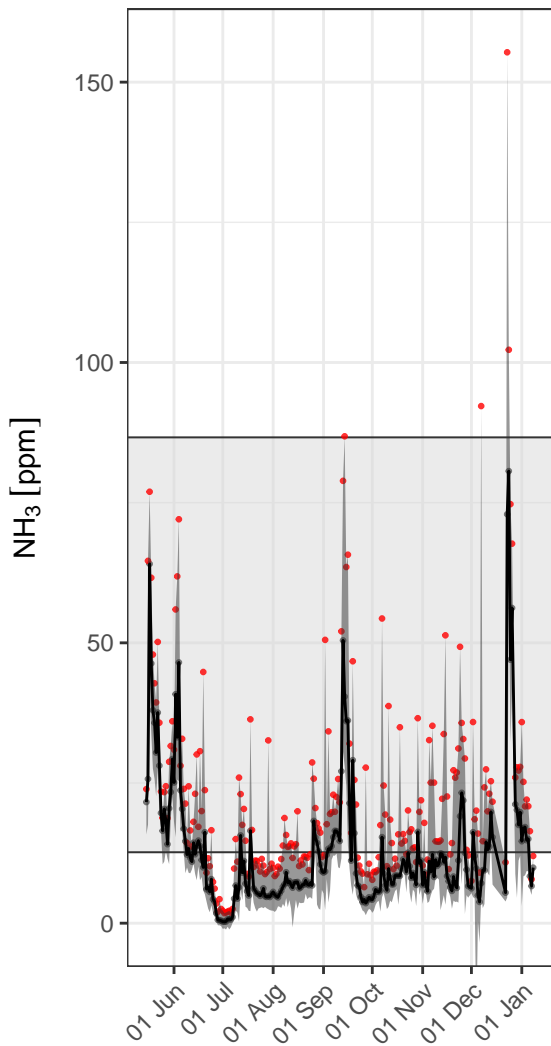
# bedrijf 2 Channel 1



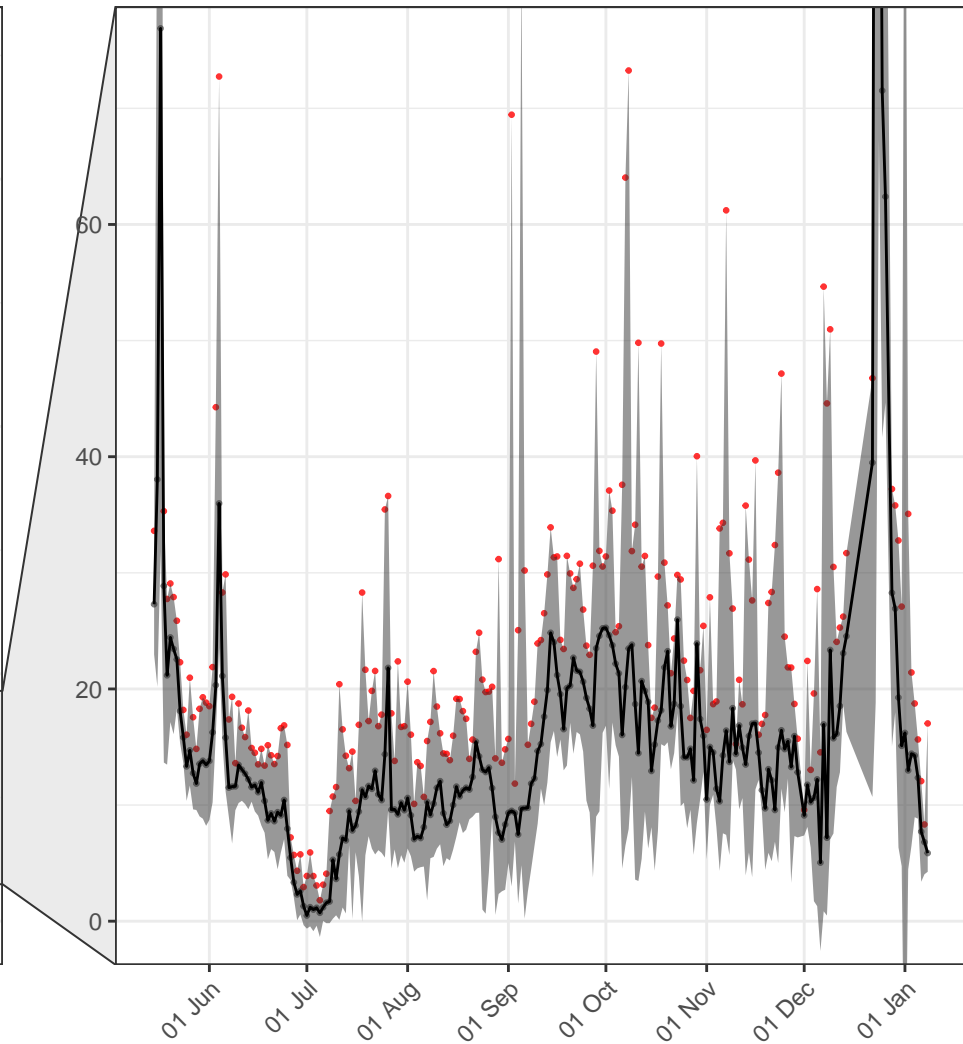
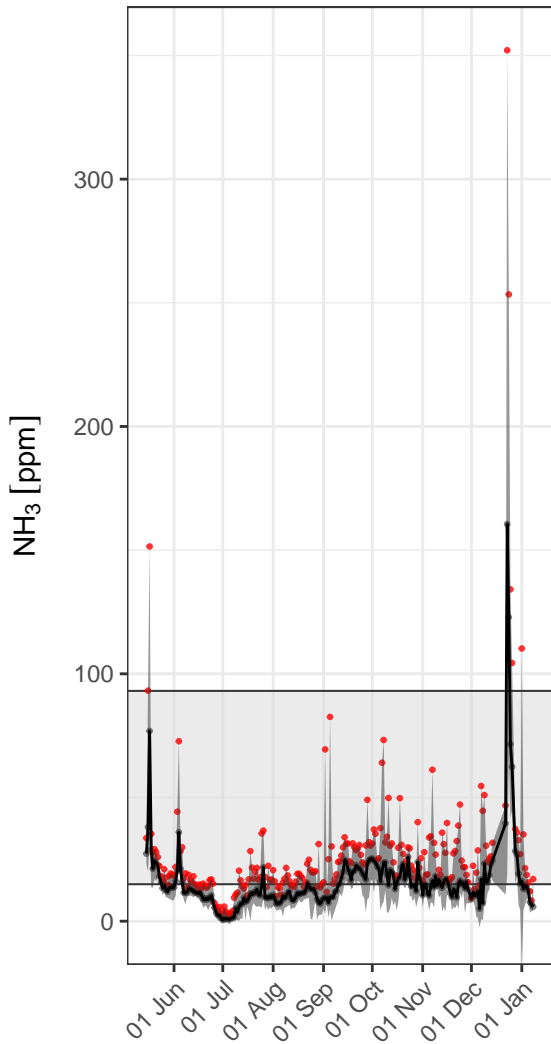
# bedrijf 2 Channel 2



# bedrijf 2 Channel 3

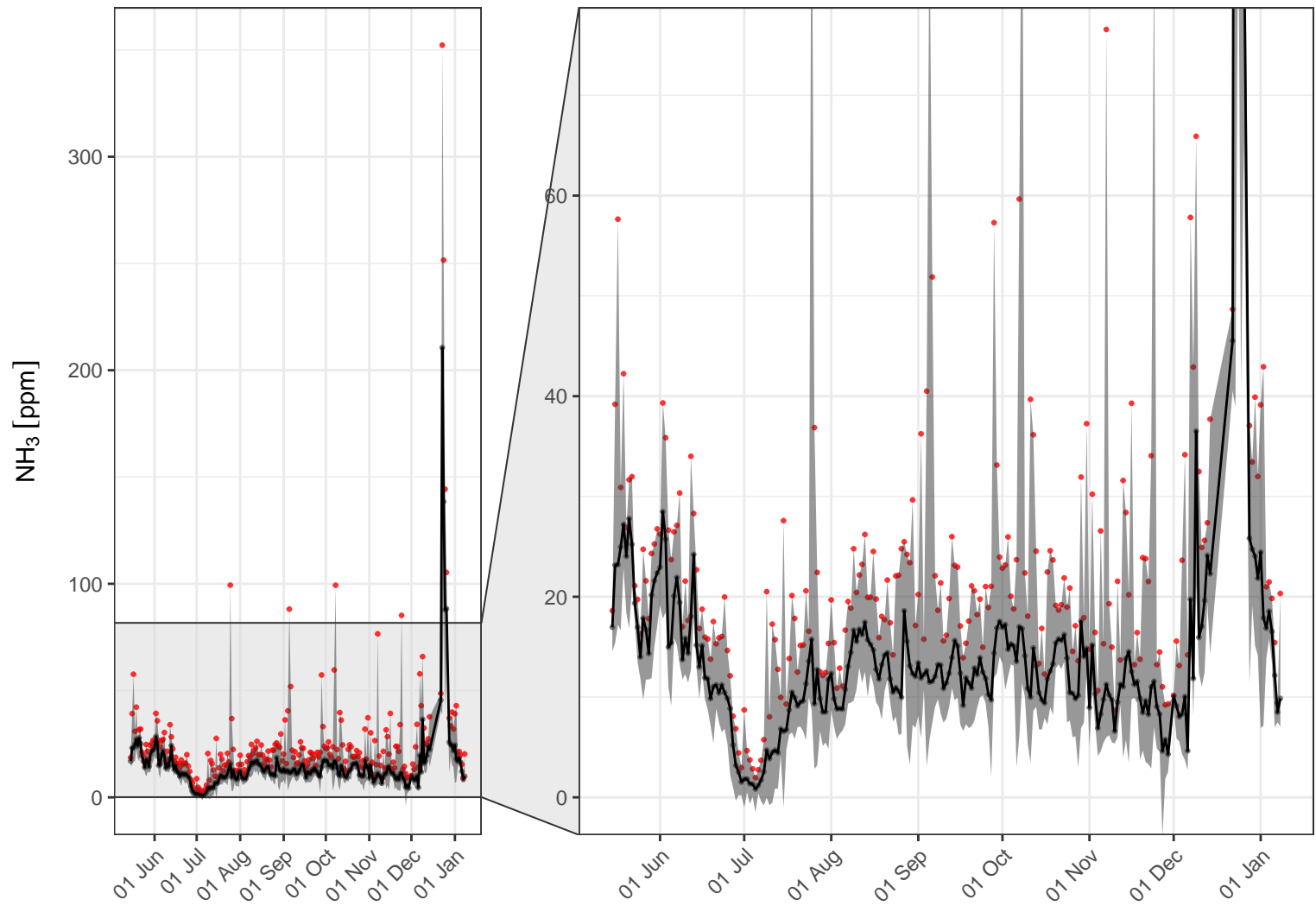


bedrijf 2 Channel 4

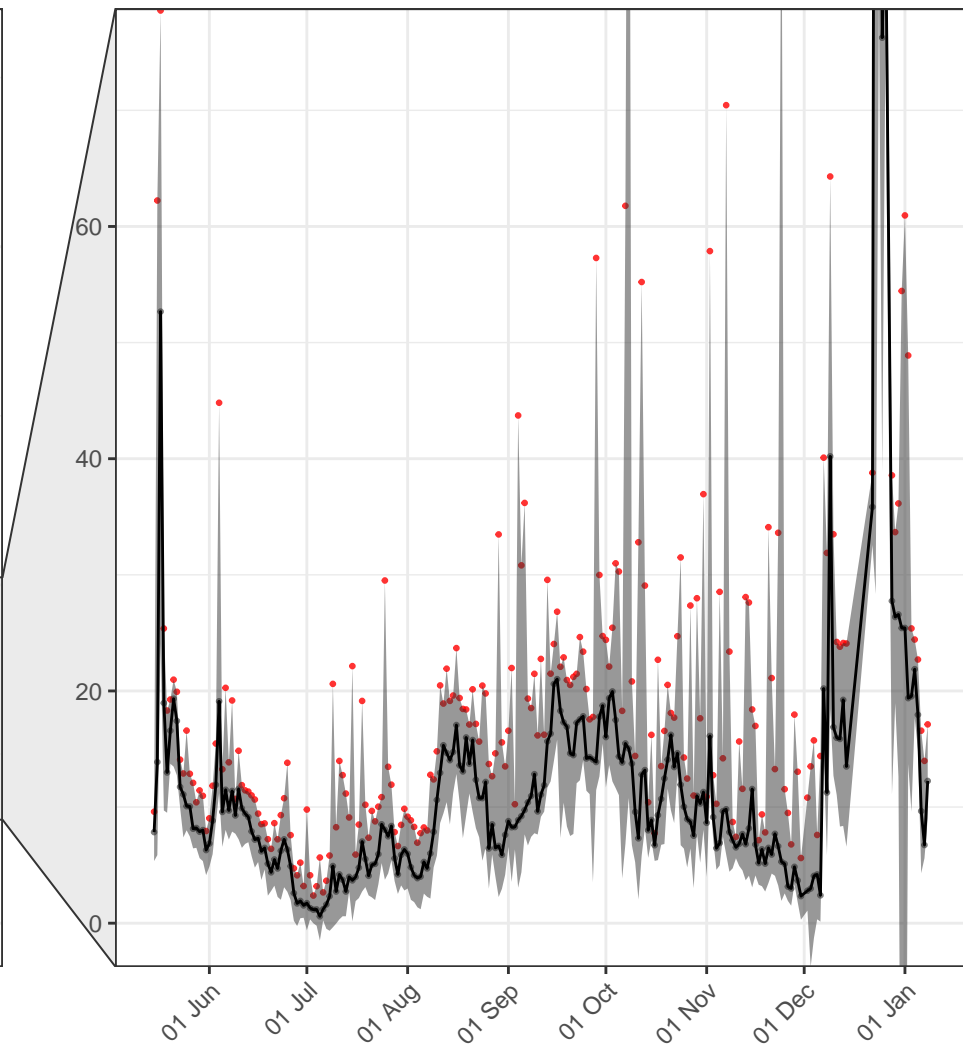
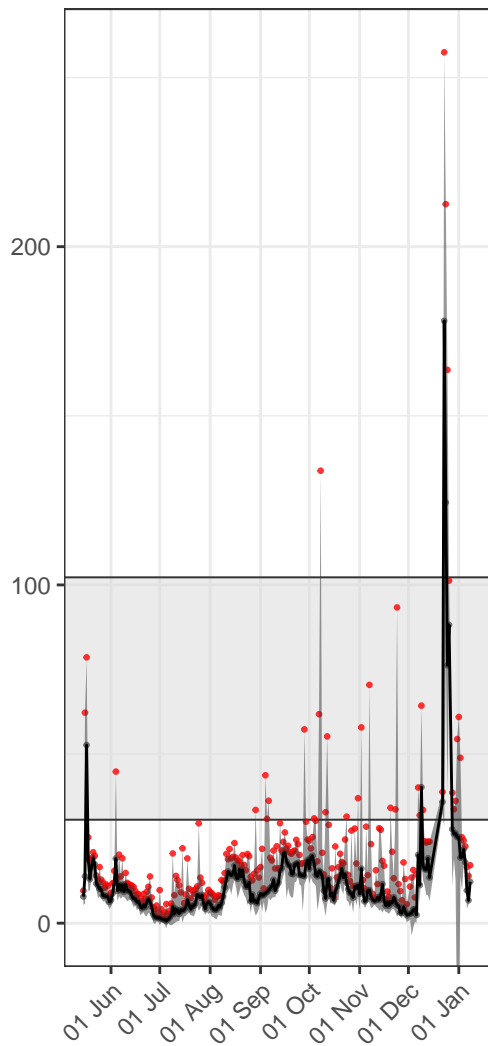




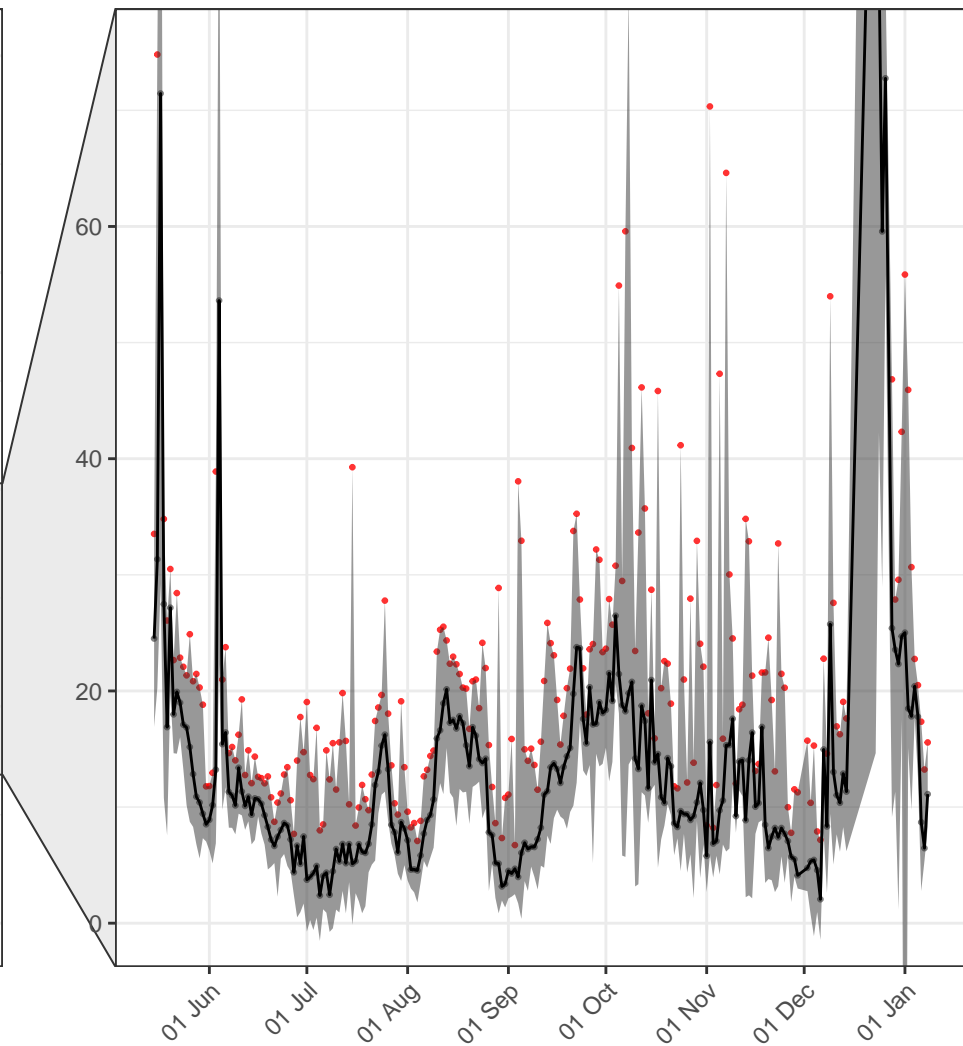
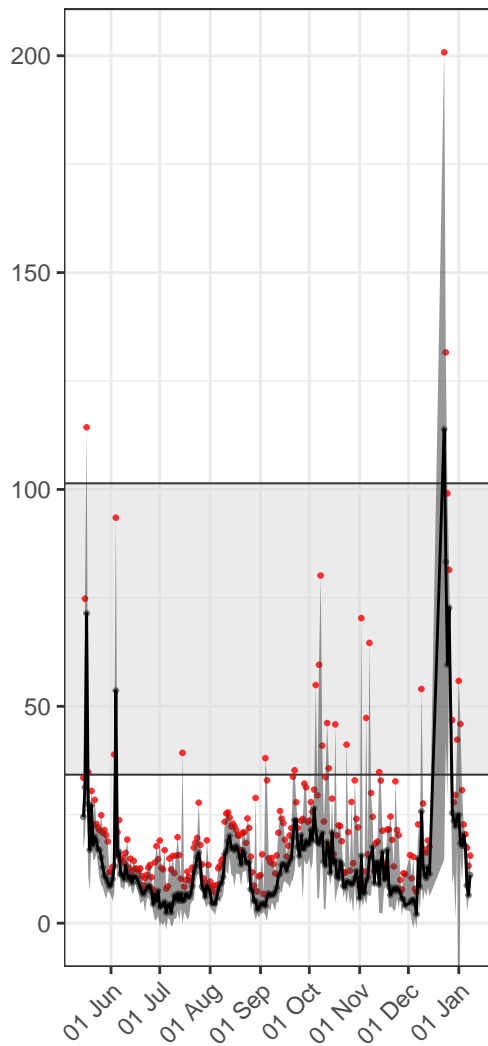
bedrijf 2 Channel 5



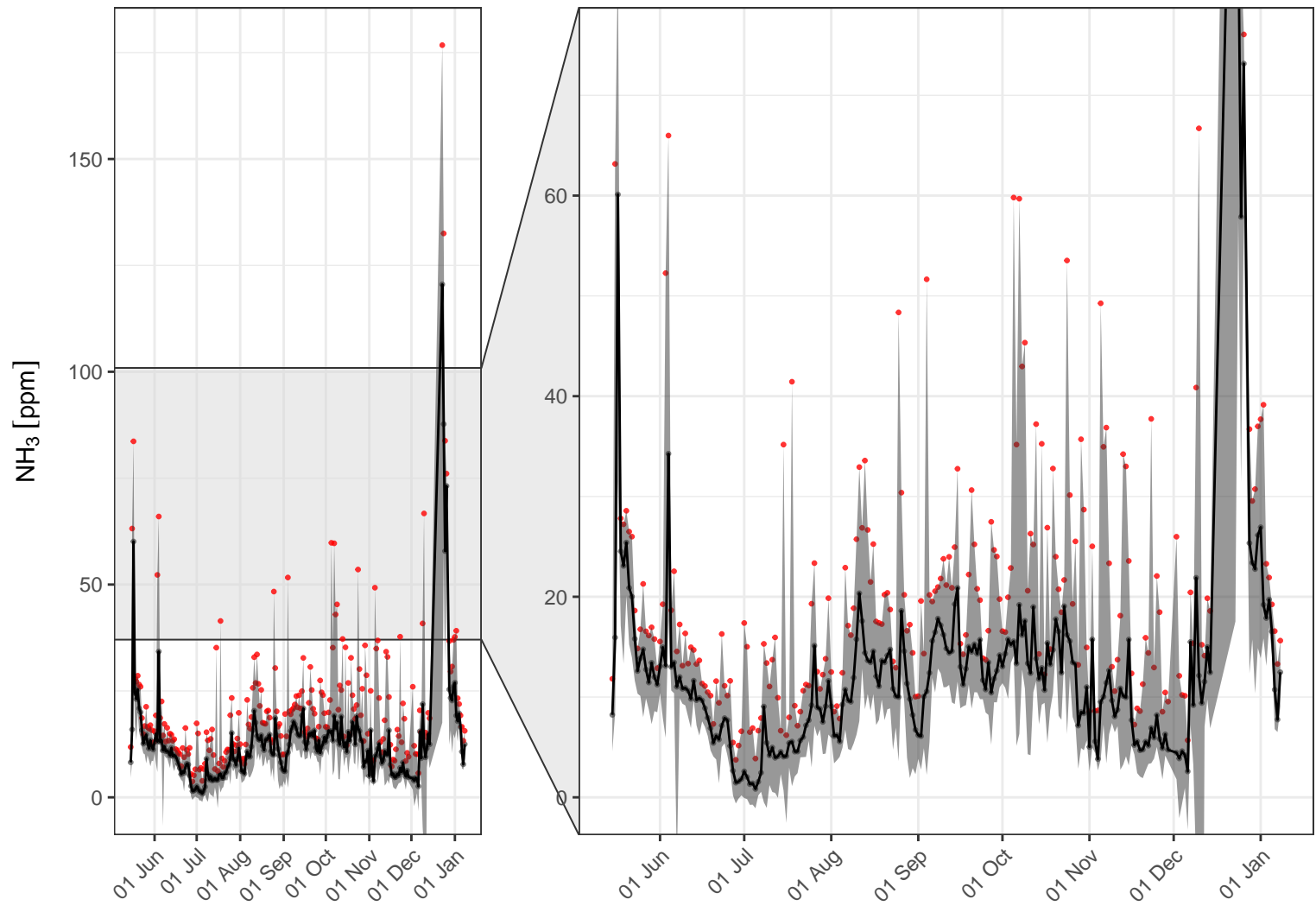
bedrijf 2 Channel 6



bedrijf 2 Channel 7



bedrijf 2 Channel 8



**CLM Onderzoek en Advies**

**Postadres**

Postbus 62  
4100 AB Culemborg

**Bezoekadres**

Gutenbergweg 1  
4104 BA Culemborg

T 0345 470 700

[www.clm.nl](http://www.clm.nl)