



# Keldermetingen methaan- en ammoniakconcentraties

Tussenrapportage

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



# Keldermetingen methaan- en ammoniakconcentraties tussenrapportage

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

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

**Publicatienr.:** CLM-1046

© CLM, december 2020

## **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>5</b>
1.1 Aanleiding voor metingen	5
1.2 Achtergrond	5
1.3 Doelen	7
<b>2 Meetmethoden</b>	<b>8</b>
2.1 Stallen en meetpunten	8
2.2 Mestsamenstelling in de kelders	10
2.3 Metingen in de kelders	10
2.4 Metingen in de stal	11
<b>3 Resultaten</b>	<b>12</b>
3.1 Resultaten per bedrijf	12
3.2 Mestsamenstelling op bedrijven	14
3.3 Verschil tussen meetpunten	15
3.4 Samenhang met stalmetingen	17
<b>4 Discussie</b>	<b>19</b>
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>22</b>
5.1 Conclusies	22
5.2 Aanbevelingen	23
<b>Bijlagen</b>	<b>25</b>
Bijlage 1: Meetapparatuur	26
Bijlage 2: Meetlocaties	28
Bijlage 3: Meetresultaten per kanaal	33

## 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 naar stalconcentraties en -emissies van methaan en ammoniak op 18 melkveebedrijven in Nederland.

Naar aanleiding van een methaanexplosie in een melkveestal in Markelo is er 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 september 2020. Pas na afronding van het onderzoek zullen definitieve conclusies worden getrokken. De rapportage daarvan wordt medio juni 2021 verwacht.

### 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. Elk van de meetpunten wordt om de twee uur gedurende 15 minuten elke minuut gemeten.

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

### Concentraties<sup>1</sup>

Op beide gemeten bedrijven hebben we redelijk vergelijkbare ammoniakconcentraties in de kelders gevonden. Op het bedrijf met een traditionele roostervloer bedroeg de gemiddelde concentratie 17 ppm, op het bedrijf met een emissiearme vloer was dit 15 ppm. De pieken waren wel wat sterker op het bedrijf met de emissiearme vloer; daar was de hoogst gemeten concentratie 297 ppm, tegenover 184 ppm op het bedrijf met de traditionele roostervloer.

---

<sup>1</sup> De gemeten concentraties zijn voorlopige waarden; de metingen zijn nog niet gecorrigeerd voor validatie

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 38 ppm, op het bedrijf met een emissiearme vloer bedroeg dit 1.652 ppm. De maxima daarentegen lagen qua niveau dicht bij elkaar met respectievelijk 14.793 ppm en 24.209 ppm. 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 24.209 ppm, 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 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 is dit het geval. Op bedrijf 2, het bedrijf met de emissiearme vloer, is het niveau van de stalluchtconcentraties 30 keer lager dan dat van de kelderluchtconcentraties. Op bedrijf 1, het bedrijf met de traditionele roostervloer, is dit verschil maar 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 15 en 17 ppm, terwijl dat in de stal 1 en 2 ppm bedraagt. De verschillen tussen de absolute waarden in de stallen zullen medebepaald worden door het ventilatiedebiet, de snelheid waarmee de stallucht wordt ververst.

#### 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 in te kunnen schatten 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, ent-materiaal, pH, beschikbaarheid van zuurstof en natuurlijk de kwaliteit van de af te breken organische stof.

Daarnaast geeft een verdere uitbreiding van het onderzoek door 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 vooralsnog alleen bekend dat een luchtmix-systeem met dagelijks mixen risicoverlagend kan werken. Naast onderzoek naar methaanvorming in de kelder en het vrijkomen van in de mestkolom opgesloten methaan, is daarom aanvullend onderzoek naar de vorming en bestrijding van mestschuim wenselijk.

Door de juiste maatregelen te treffen in het management 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.

# 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 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, behoudens oriënterende metingen in het kader van een netwerkproject 'Laat de gassen je niet verrassen' (2012; DLV i.s.m. Monteny Milieu Advies) weinig bekend. 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 kelder van 2 melkveestallen met verschillende vloertypen door gedetailleerde metingen zowel in de ruimte als in de tijd in beeld gebracht.

### 1.2

#### Achtergrond

Sinds eind 2018 wordt simultaan gemeten aan de stalemissies van methaan en ammoniak op een aantal veehouderijbedrijven. De metingen uit dat project moeten duidelijkheid geven over de emissies op stalniveau. Ondertussen wordt ook gemeten aan emissies vanuit de koe om beter zicht te krijgen op het deel emissie 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 (toplaag voor ammoniak, bulk voor methaan), de 'vrije ruimte' boven mest en onderzijde vloer, het type vloer, de luchtuitwisseling tussen onderliggende vrije ruimte en

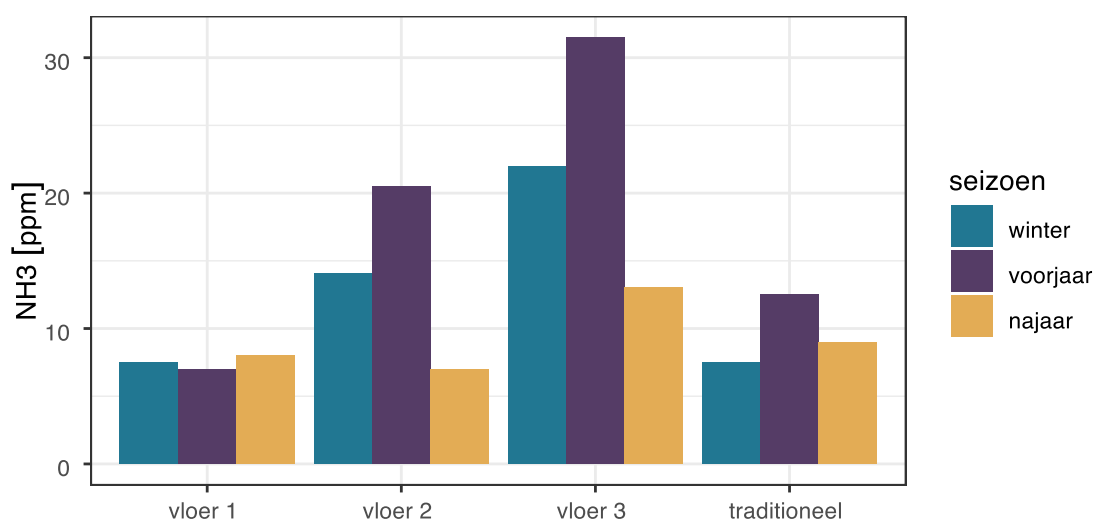
de stal, en de condities (bijvoorbeeld temperatuurverschil tussen binnen en buiten, en stalventilatie) in de stal. Een belangrijk verschil is dat voor ammoniak sprake is van een oplosbaarheid (in de mest), terwijl dit voor methaan niet het geval is.

In figuur 1.1 is een overzicht van rond 2014 uitgevoerde oriënterende metingen aan ammoniakconcentraties in kelders van steeds 4 melkveestallen met verschillende typen vloeren door Monteny Milieu Advies i.s.m. 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 ca. 4 maal zo hoge ammoniakconcentratie in de put (gemiddeld ca. 8 ppm in de onderzochte kelders) ten opzichte van de stal (gemiddeld ca. 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 1.1 Ammoniakconcentratie (in ppm) in de lucht van mestkelders in stallen met traditionele betonnen roosters en 3 verschillende typen emissiearme vloeren (4 stallen per vloertype gemeten). Vloer 1 = emissiearme roostervloer, Vloer 2 en vloer 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 eerste 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 met de gemiddelde stalluchtconcentratie van deze gassen;
3. Vaststellen van het effect van management 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 m brede betonplaten, met regelmatige mestafstort waarin flappen zijn aangebracht). Deze metingen geven een eerste indicatie van welke concentraties methaan en ammoniak er kunnen worden verwacht 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 tevens 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.

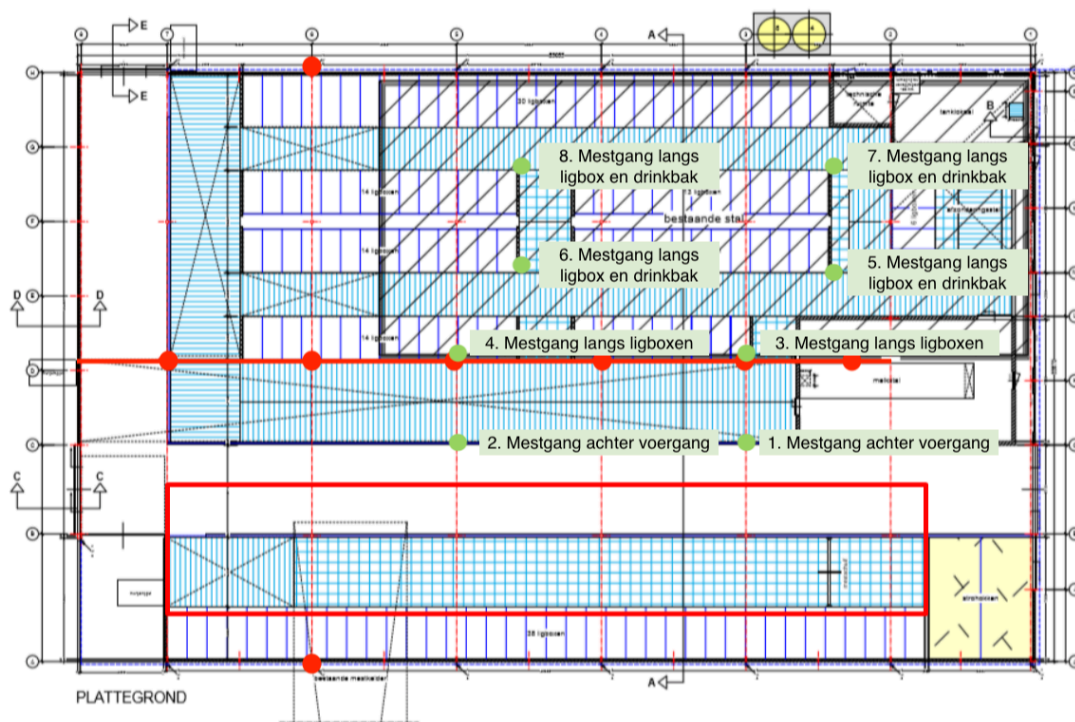
### 2.1

#### Stallen en meetpunten

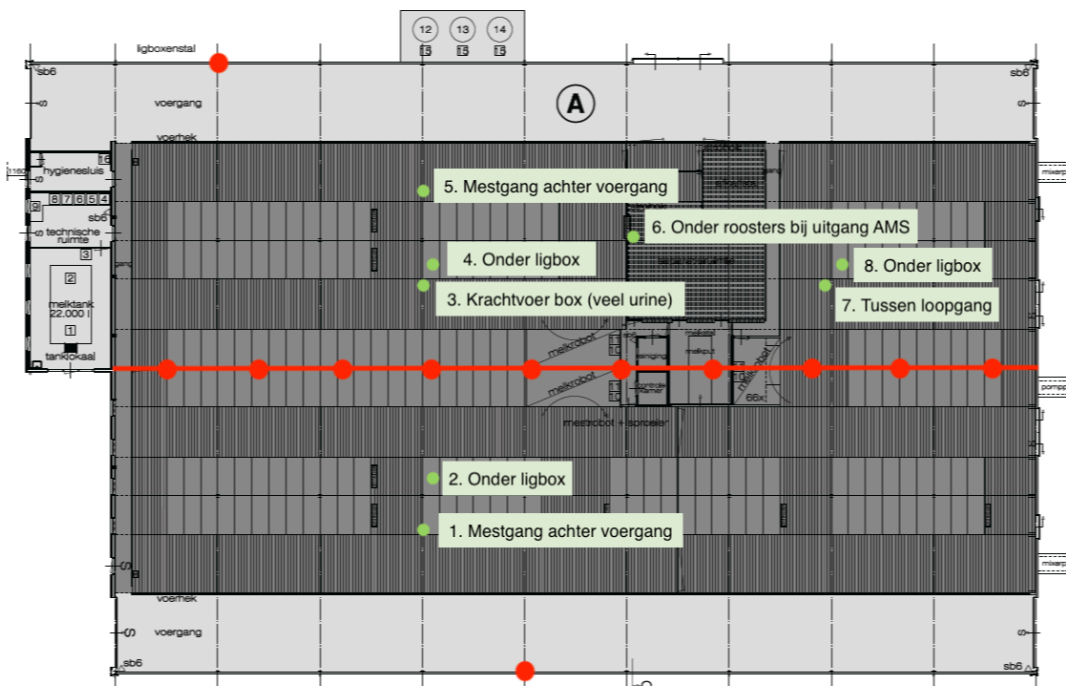
We bepaalden de opzet van de keldermetingen in overleg met de betreffende melkveehouders en op basis van de eerder opgedane ervaring met methaan- en ammoniak metingen in stallen. We kiezen voor de volgende 8 verschillende meetlocaties in de kelder van de stal.

We kiezen voor meetpunten voor, midden en achter in de kelder in de stal, omdat we verschillende waarden verwachten op deze locaties. De gassen kunnen naar achter gestuwd worden door bijvoorbeeld een luchtinlaat vanuit een open staldeur aan de voorzijde en vice versa. Ook meten we door deze verschillende meetlocaties eventuele afwijkende concentraties bij de mestafstort. Verder verwachten we dat koeien relatief meer mest en urine uitscheiden bij de melkrobot en het voerstation; daarom meten we hieronder ook de concentraties in de kelder.

Onderstaande figuren 2.1 en 2.2 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 (rood) meetlocaties zijn meetpunten buiten de stal. 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 nieuwmelkte 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 (i.r.t. 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 toplaag en bulk, voor analyse op de belangrijkste gehalten (totaal-stikstof, mineraal-stikstof, pH, droge stof, organische stof) op of rond de plaatsen waar ook de monsternamen t.b.v. gasconcentraties plaatsvindt.

Tijdens oriënterende metingen in het kader van een project van Monteny Milieu Advies i.s.m. DLV (zie Paragraaf 1.2) bleek o.a. dat bij de melkstal relatief hoge methaanconcentraties in de kelder konden optreden door het in de kelder laten lopen van spoelwater met melkresten en voerresten in de kelder onder de vloer aan het voerhek (Monteny, persoonlijke mededelingen); melk- en voerresten zijn organisch en kunnen een plaatselijke bron van methaan zijn). In dit project kiezen we daarom voor een vaste tweewekelijkse meting van zowel toplaag als bulk en een aantal extra metingen in specifieke omstandigheden, bijvoorbeeld rond het mixen.

## 2.3 Metingen in de kelders

Op ieder bedrijf doen we nauwkeurige 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 8 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. We vragen de melkveehouders ons te waarschuwen wanneer de mestkelder vol dreigt te raken, zodat we de leidingen uit de mestkelder kunnen halen voordat het meetsysteem mest gaat opzuigen.



Afbeelding 2.1 De linker en de middelste foto laten een voorbeeld zien hoe de meetleidingen onder de vloer gaan. De rechtse foto laat een voorbeeld van de apparatuur zien, 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 ammoniakalyzer. 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 keer 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 er 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 mixen zo goed mogelijk in beeld.

## 2.4 Metingen in de stal

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

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 7-8 meter luchtinlaatpunten aangesloten (zie de rode meetpunten in Figuren 2.1 en 2.2), waardoor via een stoffilter 300 ml lucht per minuut wordt aangezogen. Door aanzuigen van lucht uit verschillende inlaatpunten ontstaat een mengmonster van goedgemengde 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 gemeten wordt aan een monster van elk meetpunt afzonderlijk.



Afbeelding 2.2 De rechter en linker foto laten een voorbeeld van de monstername-leiding in de stal zien. De middelste foto laat een voorbeeld van een buitenmeetpunten 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 met behulp van een interne pomp elke minuut een monster van 30-60 ml uit het buffervat. 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 daarbij de resultaten van de tweewekelijkse mestmonsteranalyses en leggen en 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 er voor methaan grote pieken optreden en de concentratie oploopt tot tientallen keren het gemiddelde of meer. Anders dan ammoniak verschilt de methaan concentratie 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).

Dit was bij aanvang van de metingen reden om direct een extra analyser-check 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.

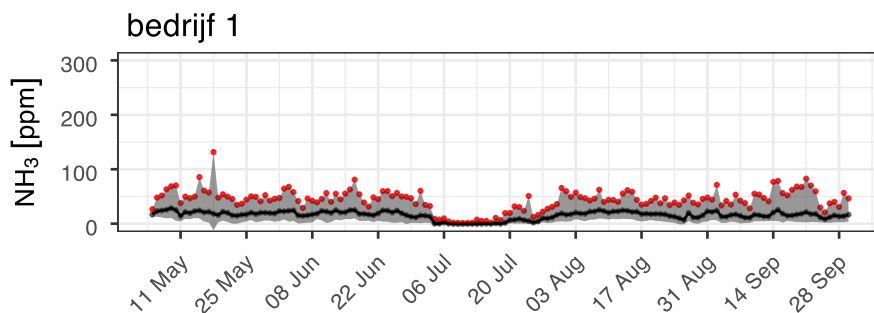
Tabel 3.1 Overzicht gemeten dagwaarden keldergassen op bedrijf 1 (betonnen roosters). De getoonde waarden zijn berekend over waarnemingen op acht meetpunten in het bedrijf over de periode 06 mei tot 30 september 2020.

	Gemiddelde concentratie (ppm)	Gemiddelde mediaan (ppm)	Maximum concentratie (ppm)
<b>Methaan</b>	38	31	14793
<b>Ammoniak</b>	17	17	184

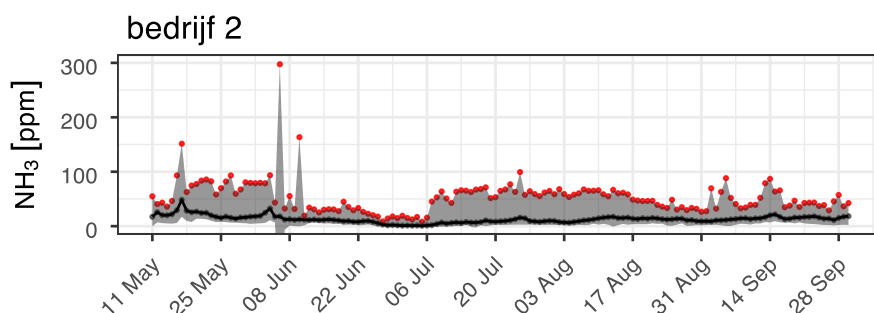
Tabel 3.2 Gemiddelde waarden gemeten keldergassen op bedrijf 2 (emissiearme plaatvloer). De getoonde waarden zijn berekend over waarnemingen op acht meetpunten in het bedrijf over de periode 06 mei tot 30 september 2020.

	Gemiddelde concentratie (ppm)	Gemiddelde mediaan (ppm)	Maximum concentratie (ppm)
<b>Methaan</b>	1652	1454	24209
<b>Ammoniak</b>	15	15	297

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 er fluctuaties te zien zijn in de tijd. In onderstaande figuren geven we de range van gemeten waarden 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.



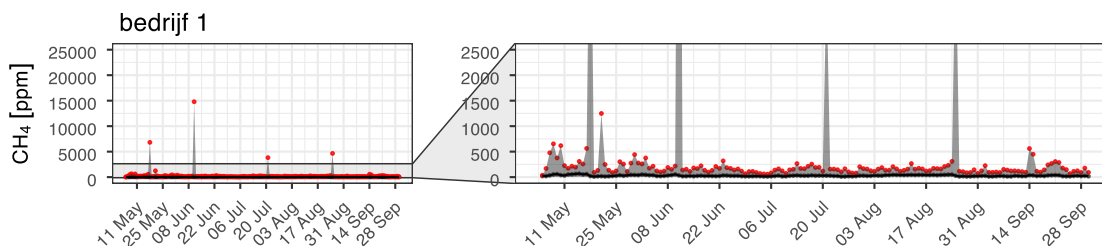
Figuur 3.1 ammoniakconcentraties in de kelder van bedrijf 1<sup>2</sup>. Het grijze vlak geeft de gemeten range per dag weer, met zwarte lijn mediane concentraties over alle meetpunten op het bedrijf, en rode punten de dagmaxima.



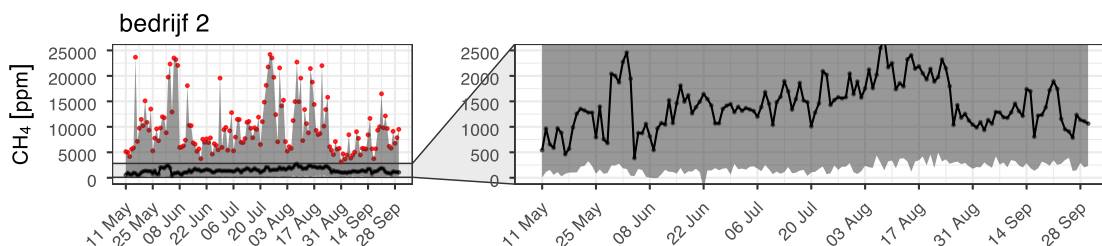
Figuur 3.2 ammoniakconcentraties in de kelder van bedrijf 2. Het grijze vlak geeft de gemeten range per dag weer, met zwarte lijn mediane concentraties over alle meetpunten op het bedrijf, en rode punten de dagmaxima.

Het verloop en het niveau van de ammoniakconcentratie zijn in beide kelders vergelijkbaar. De mediaan (zie Tabellen 3.1 en 3.2) komt uit op 17 en 15 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 vooralsnog niet hebben kunnen terugleiden tot een specifieke situatie of activiteit op de bedrijven.

<sup>2</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.



Figuur 3.3 methaanconcentraties in de kelder van bedrijf 1 met zoom-in op het lagere concentratiegebied. Het grijze vlak geeft de gemeten range per dag weer, met zwarte lijn mediane concentraties over alle meetpunten op het bedrijf, en rode punten de dagmaxima.



Figuur 3.4 methaanconcentraties in de kelder van bedrijf 2 met zoom-in op het lagere concentratiegebied. Het grijze vlak geeft de gemeten range per dag weer, met zwarte lijn mediane concentraties over alle meetpunten op het bedrijf, en 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 (zie Tabellen 3.1 en 3.2). Op bedrijf 1 ligt de mediaan op 31 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 mestmixin.

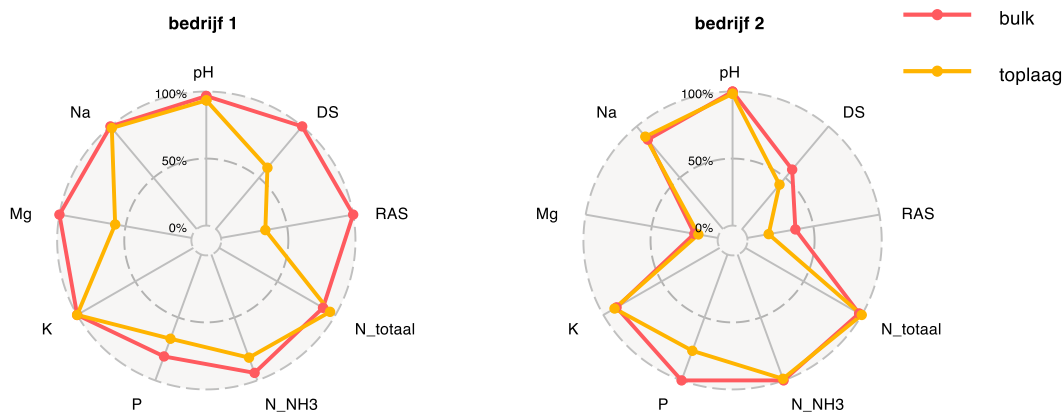
Op bedrijf 2 zijn zowel het niveau als de variantie veel groter dan op bedrijf 1. Ook treden er vaker pieken op die ook hoger zijn dan op bedrijf 1. De mediaan ligt hier op 1.454 ppm, de hoogste pieken liggen rond de 24.000 ppm, met als maximale uitschieter 24.209 ppm. Deze zijn niet alle te herleiden tot mestmixin.

## 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 (tabel 3.3). De samenstelling van de mest is in de toplaag redelijk uniform terwijl er in de bulk grotere verschillen te zien zijn (tabel 3.3, figuur 3.5). Dit verschil wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de bulk op bedrijf 1 sterk verrijkt is in droge stof (DS), ruwe as (RAS) en in mindere mate magnesium (Mg). Mogelijk is dit een gevolg het naar beneden zakken van vaste deeltjes doordat de mest ontmengt raakt. Nadere analyse laat zien dat het verschil in samenstelling tussen toplaag en bulk over het algemeen toeneemt naarmate er 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 dichter bij de onderkant van de kolom genomen dan op bedrijf 2.

Tabel 3.3 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-september 2020. Voor de locaties 1 en 2 zijn de mestlagen respectievelijk 9 en 10 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		DS	RAS	N-tot	N-NH3	P	K	Mg	Na	
		(cm)	pH	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	
bedrijf 1	toplaag	gemiddeld	59	7	111,3	38,3	3,9	1,3	0,5	4,7	3,6	0,7
		minimaal	10	6,8	74	26	3,3	0,9	0,4	3,7	1,9	0,5
		maximaal	75	7,2	156	61	4,6	1,7	0,7	5,9	6,4	0,8
		standaardafwijking		0,1	25,6	11,9	0,3	0,3	0,1	0,6	1,3	0,1
	bulk	gemiddeld	7,2	179,2	107,7	3,7	1,5	0,6	4,8	6,1	0,7	
	minimaal	7	93	39	3,5	1,2	0,4	4,3	2,1	0,6		
	maximaal	7,4	247	171	4,1	1,7	0,9	5,6	12,8	0,9		
	standaardafwijking		0,1	62,7	54,9	0,2	0,2	0,2	0,4	3,4	0,1	
bedrijf 2	toplaag	gemiddeld	112	7,4	80,7	18,5	4,1	1,5	0,6	4,2	0,9	0,6
		minimaal	75	7,1	66	17	3,6	1,2	0,5	3,5	0,8	0,5
		maximaal	145	7,5	93	20	4,6	1,9	0,6	4,8	1,1	0,7
		standaardafwijking		0,2	7,5	1,2	0,3	0,2	0	0,5	0,1	0,1
	bulk	gemiddeld	7,5	108	41,6	4	1,6	0,8	4,1	1,1	0,6	
	minimaal	7,4	71	19	3,8	1,2	0,6	3,7	0,9	0,6		
	maximaal	7,6	204	114	4,3	2	1,1	4,5	1,5	0,7		
	standaardafwijking		0,1	42,6	30,8	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0	

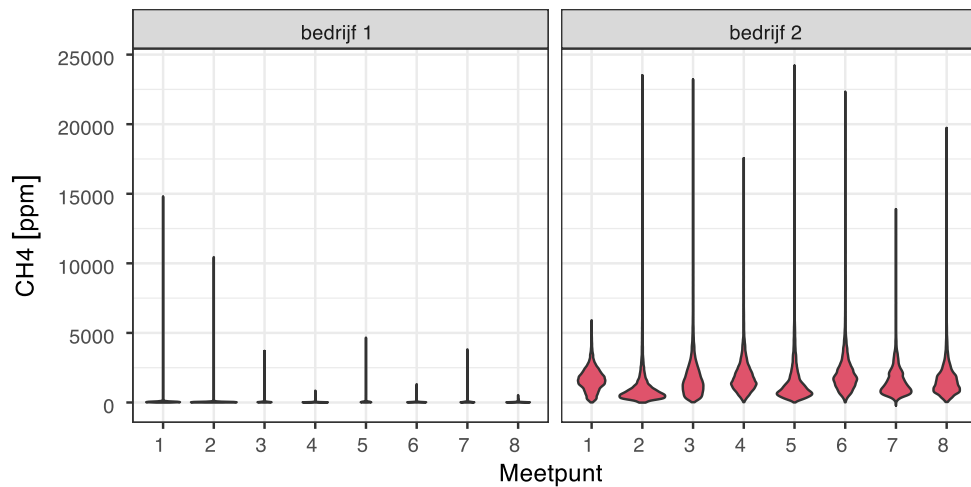


Figuur 3.5: Relatieve mestsamenstelling per laag op de bedrijven 1 en 2, met 100% het maximaal gemeten gemiddelde over beide bedrijven.

### 3.3 Verschil tussen meetpunten

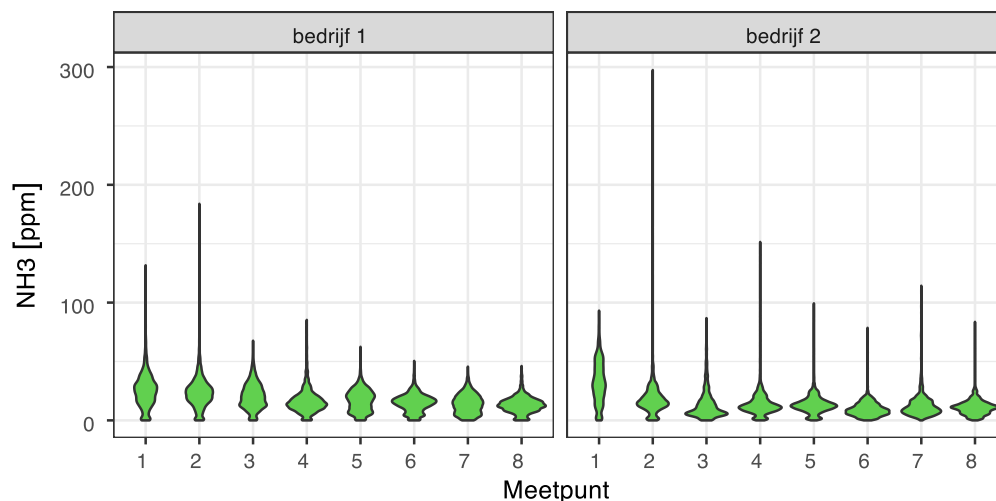
Op elk van de twee bedrijven zijn metingen uitgevoerd op 8 meetpunten. Daarbij zijn grote verschillen te zien. Zowel de mediaan als het aantal en de hoogte van uitschieters zijn verschillend. In de figuren 3.6 en 3.7 is te zien hoe vaak waarden in een bepaalde range voorkomen per meetpunt. Daarmee is zowel de range binnen een meetpunt als de verdeling tussen de meetpunten te zien.





Figuur 3.6 methaanconcentraties, ranges per meetpunt. De breedte van de lijn geeft de frequentie aan waarbij de waarde voorkomt.

Opvallend is in Figuur 3.6 dat de meetpunten 2 (onder de ligbox) en 5 (onder de mestgang achter de voergang) op bedrijf 2 met de laagste mediaanwaarden ook de hoogste uitschieters laten zien. Voor meetpunt 2 is dat te verklaren doordat een ligbox geheel dicht is, waardoor verticale luchtuitwisseling tussen kelder en stal niet aan de orde is (eventueel wel luchtbeweging in de lengterichting). Voor meetpunt 5 zou dit verklaard kunnen worden uit de aanwezigheid van voorresten, doordat de dieren tijdens het vreten voer morsen op de loopgang aan het voerhek, dat door het mestschuiven via de regelmatige mestafstorten in de mestkelder terecht komt. In de eerdergenoemde metingen met verschillende typen vloeren door Monteny Milieu Advies i.s.m. DLV (Paragraaf 1.2) werd dit ook vastgesteld. In een volgende fase in het project proberen we hier nog meer informatie over te verzamelen, door onder andere per meetpunt enkele mestmonsters te verzamelen en de verschillen te analyseren.



Figuur 3.7 ammoniakconcentraties, ranges per meetpunt. De breedte van de lijn geeft de frequentie aan waarbij de waarde voorkomt.

In figuur 3.7 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.

In deze rapportage gaan we niet verder in op de verschillende meetpunten; in de komende periode gaan we op zoek naar verklaringen voor deze verschillen.

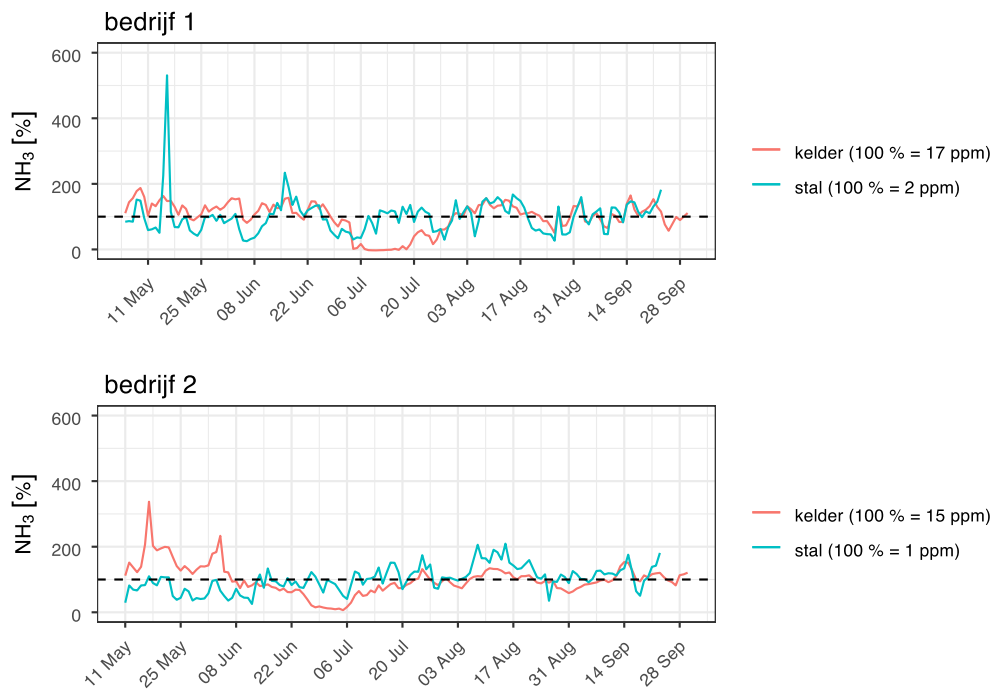
### 3.4 Samenhang met stalmetingen

Het tweede doel van het project is het in beeld brengen van de relatie tussen de concentraties van keldergassen methaan en ammoniak met de gemiddelde stalluchtconcentratie van deze gassen. In de figuren 3.8 en 3.9 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.

Te zien is dat er een verschil is tussen de bedrijven in de verhouding in de kelder en in de stal. Een nadere verklaring hiervoor wordt nog gezocht. 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 kelderemissie een soort constante is (dichte vloer geeft minder luchtuitwisseling met hoge concentratie = zelfde emissie als roostervloer met meer luchtuitwisseling met lage concentratie). Het ventilatiedebiet van de kelder is echter niet bekend, waardoor een directe relatie tussen concentraties in de kelder- en stallucht moeilijk vast te stellen is.



Figuur 3.8: Relatieve methaanconcentraties 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.



Figuur 3.9: 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.

## 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.

### 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. Daarbij komt dat 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 luchtballen tussen de 60-80% liggen (Starmans et al, 20093), hetgeen tot hoge concentraties kan leiden bij het kapotgaan van het schuim, bijvoorbeeld tijdens het mestmengen.

### 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. Tenslotte kan het nog zijn dat de cijfers na validatie uiteindelijk nog zullen veranderen in de eindrapportage. Dit voorbeeld bevestigt het feit dat op basis van twee bedrijven geen uitspraak kan worden gedaan over de verschillen in vloersystemen.

### Methaanophoping onder dichte vloer

Emissiearme vloeren zijn ontwikkeld om een ammoniakevenwicht onder de vloer op te bouwen, waarbij door zeer beperkte uitwisseling met de stallucht, minder ammoniak vervluchtigt. De theorie is dat bij methaan geen evenwicht gevormd wordt, maar dat de ontwikkeling van methaan ook bij hogere concentraties doorgaat. De theorie is dat methaan zich door haar lage gewicht laat verdringen door andere gassen, en dat daardoor de concentraties niet al te sterk oplopen. Er zou dus onder een emissiearme vloer geen substantieel hogere concentratie methaan gevormd worden dan onder een roostervloer. In dit onderzoek zien we echter wel degelijk een groot verschil.

---

<sup>3</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.

Mogelijk kan methaan door de zeer beperkte uitwisseling van kelderlucht met de buitenlucht toch niet worden verdrongen, waardoor het zich kan ophopen in de kelder. Om hier meer zicht op te krijgen zal er in de volgende rapportage een extra analyse worden uitgevoerd op de relatie tussen de ligging van meetpunten ten opzichte van vloeropeningen en methaanconcentratie.

### **Explosiegevaar**

In de inleiding is genoemd dat één van de aanleidingen van het onderzoek de stalexplosie in Markelo is geweest. 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) van methaan (44.000 ppm) gemeten. De methaanconcentraties lagen altijd beneden deze grens, waarbij het maximum uitkwam op 24.000 ppm.

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.

### **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 werkt 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 deze rapportage gaan we niet in op de verband; in de eindrapportage van dit onderzoek zullen we onderzoeken of hier een verband te leggen is. Opvallend is dat er 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 deze vrijkomt en de stal verlaat.

### **Ontmenging**

In het onderzoek zijn mestmonsters in de kelder steeds op twee niveaus genomen: een ondiep monster en een diep monster. Reden van dit onderscheid is dat er 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 er zich bij slechte menging met name bij diepe kelders mogelijk wel methaan in kleine gasbelletjes ophopen in de mest. 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 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. In een eerste analyse lijkt het erop dat de ontmengingssnelheid redelijk constant is, zodat de mate van ontmenging vooral afhangt van de tijd tussen mixen. Bekeken zal worden of er op basis van ontmengingssnelheid en mesthoogte een

verbeterd mixbeleid kan worden toegepast waarbij al te hoge methaanconcentraties vermeden worden.

### Het belang van continumetingen

In het project is duidelijk de waarde van continumetingen gebleken. De incidenteel hoge waarden worden alleen gevonden als er continumetingen plaatsvinden, hetgeen een argument is om bij vervolgonderzoek ook weer deze meetstrategie toe te passen. Daarnaast geven de metingen een goed beeld van de fluctuaties gedurende de dag. Het feit dat er wisselend per punt werd gemeten in dit onderzoek 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 (bijv. randomiseren van monsternamenpunten) dat voorkomen wordt dat vaste meetpunten op vaste momenten worden bemonsterd.

### 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 er wel een verband tussen de twee te leggen is (emissie = concentratie \* 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 tot lagere emissies uit de mest leiden: de ammoniak in de kelderlucht is immers in evenwicht met de ammoniakale stikstofconcentratie in de toplaag 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 er in de mestkolom wordt geproduceerd (functie van met name gehalte aan organische stof en temperatuur), de snelheid waarmee methaan vrijkomt, en de mate waarin het 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 vergelijkbaar is tussen de twee bedrijven.

De pieken in de methaanconcentratie waren zeer kortdurend en 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 in de mestkolom of een eventuele schuimlaag zitten opgesloten. 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/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 de voorraad methaan in de mestkolom te beperken. Dit kan gebeuren 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 de productie ervan ook af (Montes et al, 2013<sup>4</sup>) omdat verschillende stoffen in de mestkolom (waaronder methaan) oxideren.

---

<sup>4</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 voorlopige resultaten verwerkt van metingen in de mestkelders van twee melkveebedrijven. In dit hoofdstuk bespreken we de voorlopige conclusies op basis van 5 maanden meten van begin mei tot eind september 2020. De metingen lopen nog door tot eind maart 2021 of zoveel eerder als de mestput vol zit en er geen kelderlucht meer gemeten kan worden. Pas na afronding van het onderzoek zullen definitieve conclusies worden getrokken. De rapportage daarvan wordt medio juni 2021 verwacht.

### 5.1 Conclusies

#### 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 17 ppm, op het bedrijf met een emissiearme vloer was dit 15 ppm. De pieken waren wel wat sterker op het bedrijf met de emissiearme vloer; daar was de hoogst gemeten concentratie 297 ppm, tegenover 184 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 38 ppm, op het bedrijf met een emissiearme vloer bedroeg dit 1.652 ppm. De maxima daarentegen lagen qua niveau dicht bij elkaar met respectievelijk 14.793 ppm en 24.209 ppm.

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 24.209 ppm, 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 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 is dit het geval. Op bedrijf 2 is het niveau van de stalluchtconcentraties 30 keer lager dan dat van de kelderluchtconcentraties. Op bedrijf 1 is dit

verschil maar 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 15 en 17 ppm, terwijl dat in de stal 1 en 2 ppm bedraagt. De verschillen tussen de absolute waarden in de stallen zullen medebepaald worden door het ventilatiedebiet.

## **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 in te kunnen schatten 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, ent-materiaal, pH, beschikbaarheid van zuurstof en natuurlijk de kwaliteit van de af te breken organische stof.

Daarnaast geeft een verdere uitbreiding van het onderzoek door 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 maar 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 naar de vorming en bestrijding van mestschuim wenselijk.

Door de juiste maatregelen te treffen in het management 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.

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

We beschrijven hieronder de stappen in volgorde van direct toepasbaar tot lange termijn toepasbaar.

- Zorg ervoor dat er geen ontstekingsbronnen 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.
- 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 in die situaties dus extra voorzichtig
- 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 evt. aan frequent mixen met luchtballen.
- Zorg voor het juiste voer en optimale benutting voor het vee. Hoge, makkelijk afbreekbare C-gehalten in de mest kunnen het vergistingsproces versterken en daarmee 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**

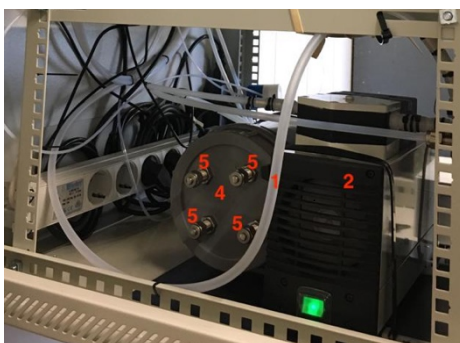
## Bijlage 1: Meetapparatuur

Onderstaande foto's geven een indruk van de meetapparatuur.



Figuur B1.1 Meetopstelling voorzijde

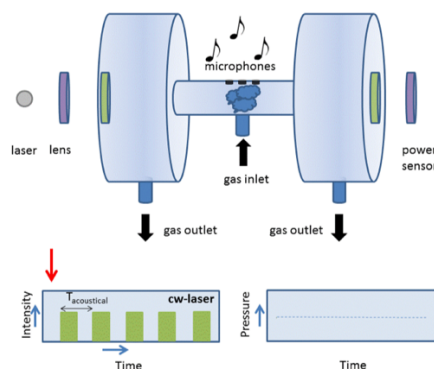
1. aanzuigleiding stallucht
2. pomp aanzuiging stallucht
3. buffervat stallucht
4. achteraanzicht buffervat
5. aftappunten voor validatie
6. methaananalyser
7. ammoniakanalyser
8. Scherm met live meetwaarden



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 fotoakoestiek 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 CO2 wordt gebruik gemaakt van infrarood (NDIR) metingen.

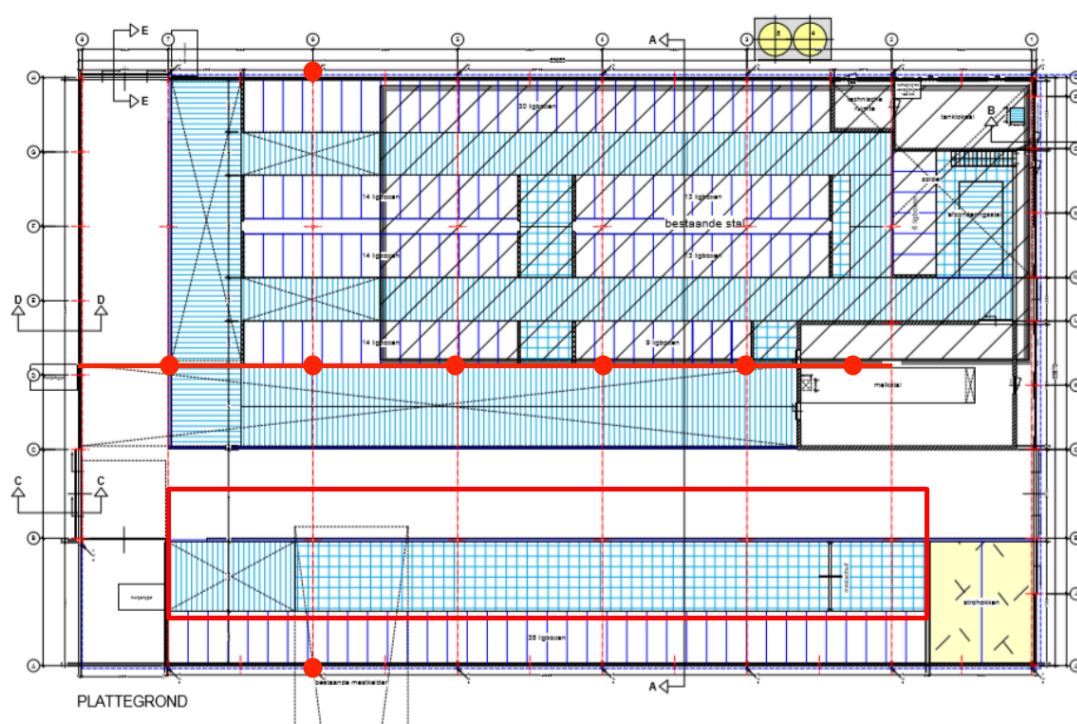
De analyzers zijn uitgerust met software die ervoor zorgt dat de gemeten concentraties direct worden omgerekend naar emissies. Dat gebeurt met behulp van CIGR-rekenregels voor het

ventilatie-debiet 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 er direct een correctie plaatsvindt voor het ventilatie-debiet.

## 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). In de stal wordt melkvee derhalve in een 0+4 stalinrichting gehuisvest. De dieren worden in een inpandige melkstal (2x12 zij aan zij) gemolken, zonder specifieke wachtruimte. De dieren wachten op de brede loopgang aan het voorhek 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

ventilatieoppervlak 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

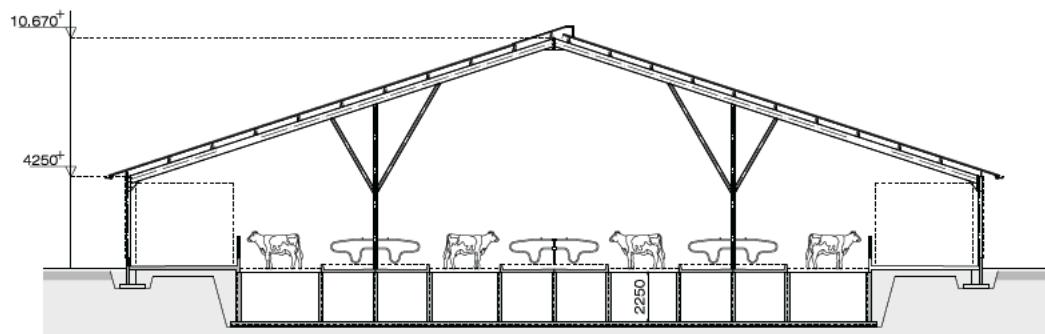
### Stal 2: emissiearme vloer

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 koeseparatie 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 inpandige 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 vloerooppervlak beschikbaar.

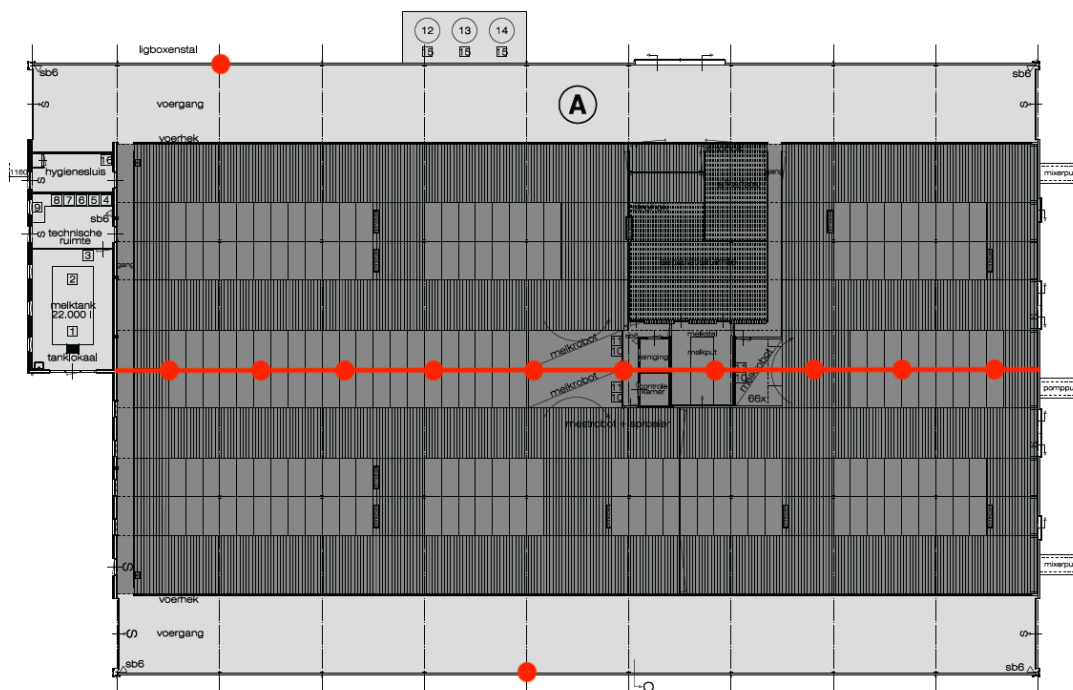
De stal wordt natuurlijk geventileerd. Aan beide kanten van de stal is ventilatiedoek aanwezig over nagenoeg de hele hoogte van de zijgevels (ca. 4 m hoog), waarmee de opening van de luchtinlaat kan worden geregeld. Daarmee is het regelbare ventilatieoppervlak 240 m<sup>2</sup> per kant. In het midden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



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 zijn de belangrijkste kenmerken van dit bedrijf op een rij gezet.



doorsnede stal A



Figuur B2.2 Stalindeling, 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.

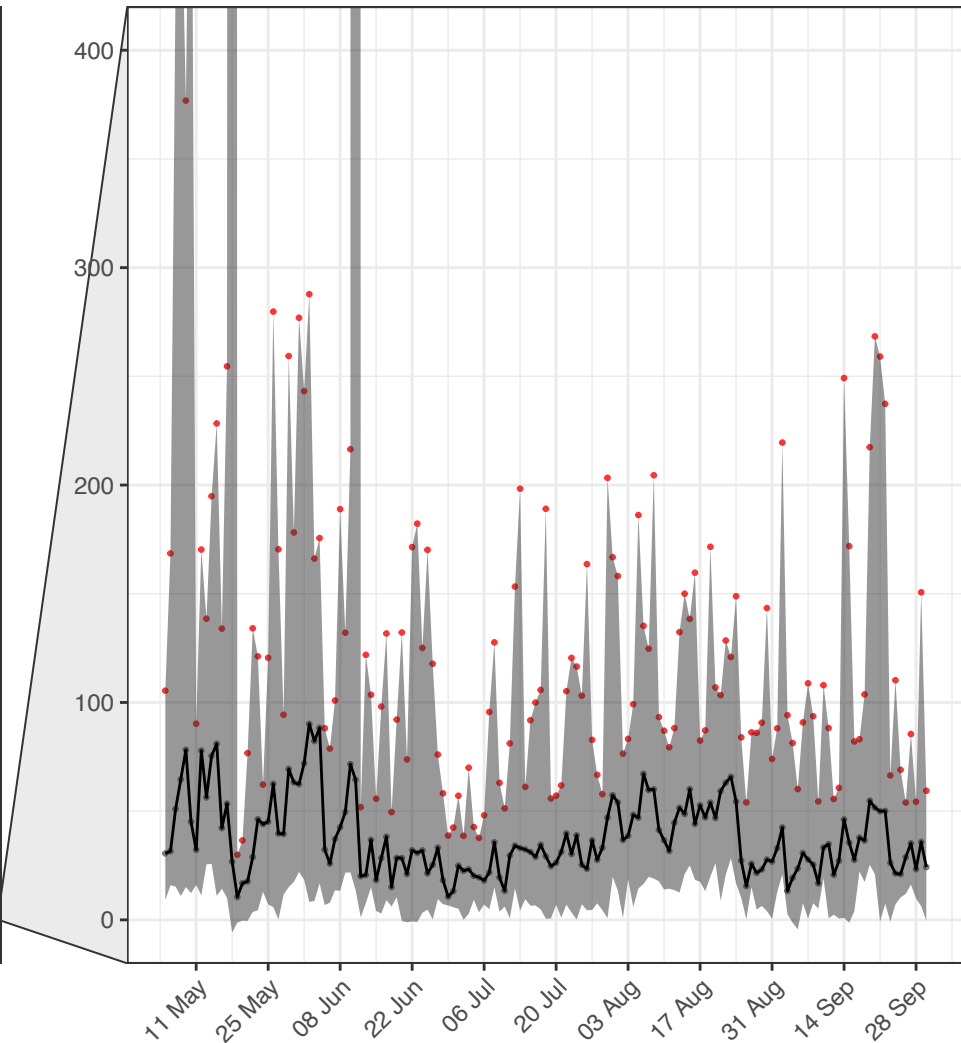
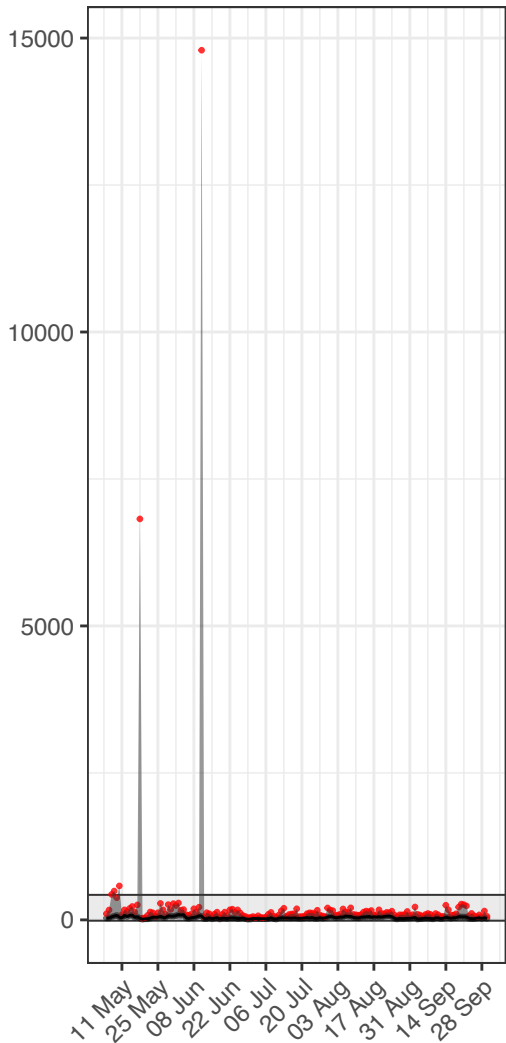
Kenmerken	Waarde
<sup>2</sup> Weidegang	6 uur per dag gedurende 120 dagen
<sup>2</sup> Melkproductie en -samenstelling (%vet; %eiwit; ureumgehalte in mg/100g; fosforgehalte in mg/100g)	1.712.499 kg, 4,36%, 3,51%, 19 mg/100 g, 100 mg/100 g
<sup>2</sup> Rantsoen	
Voeropname (kg ds/dier/dag)	20,3
Aandeel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

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

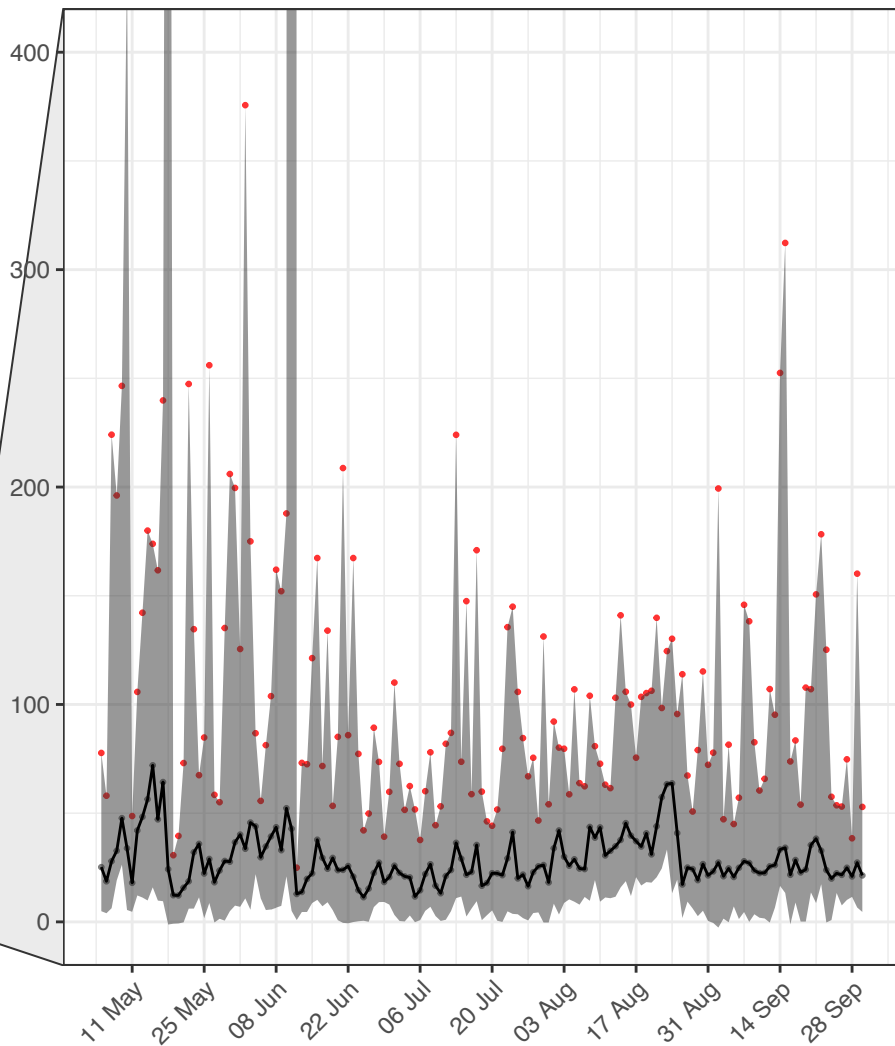
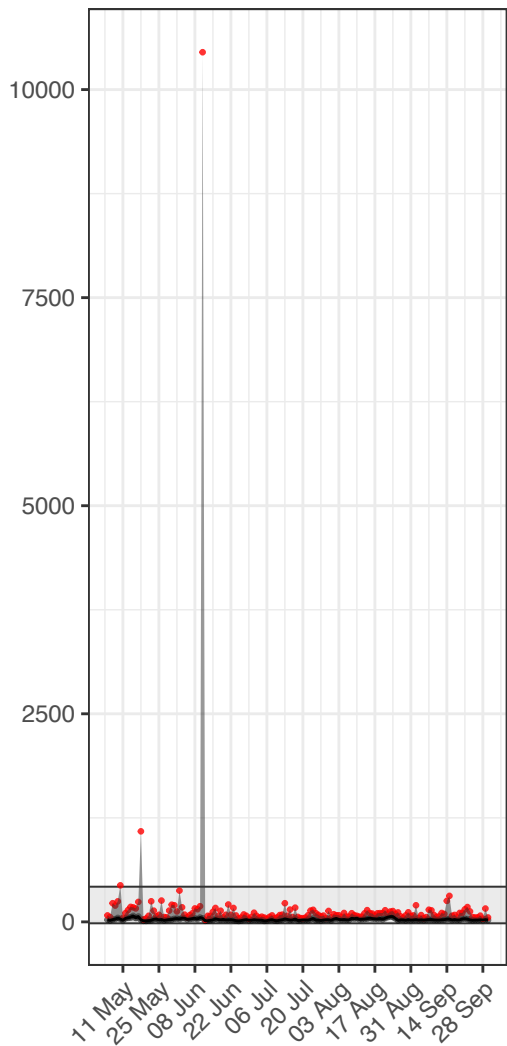
## Bijlage 3: Meetresultaten per kanaal

Zie aangehechte pagina's.

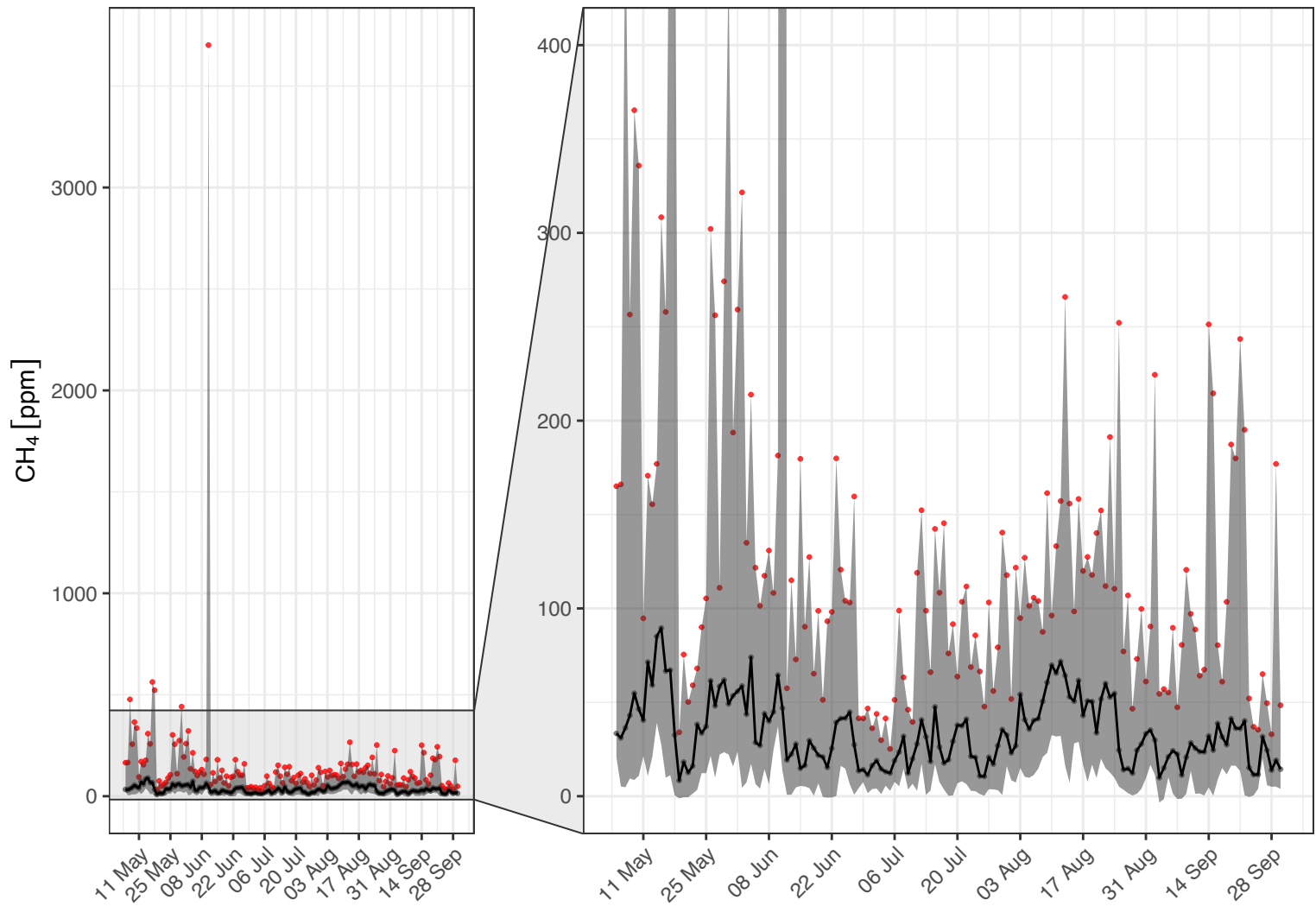
bedrijf 1 Channel 1



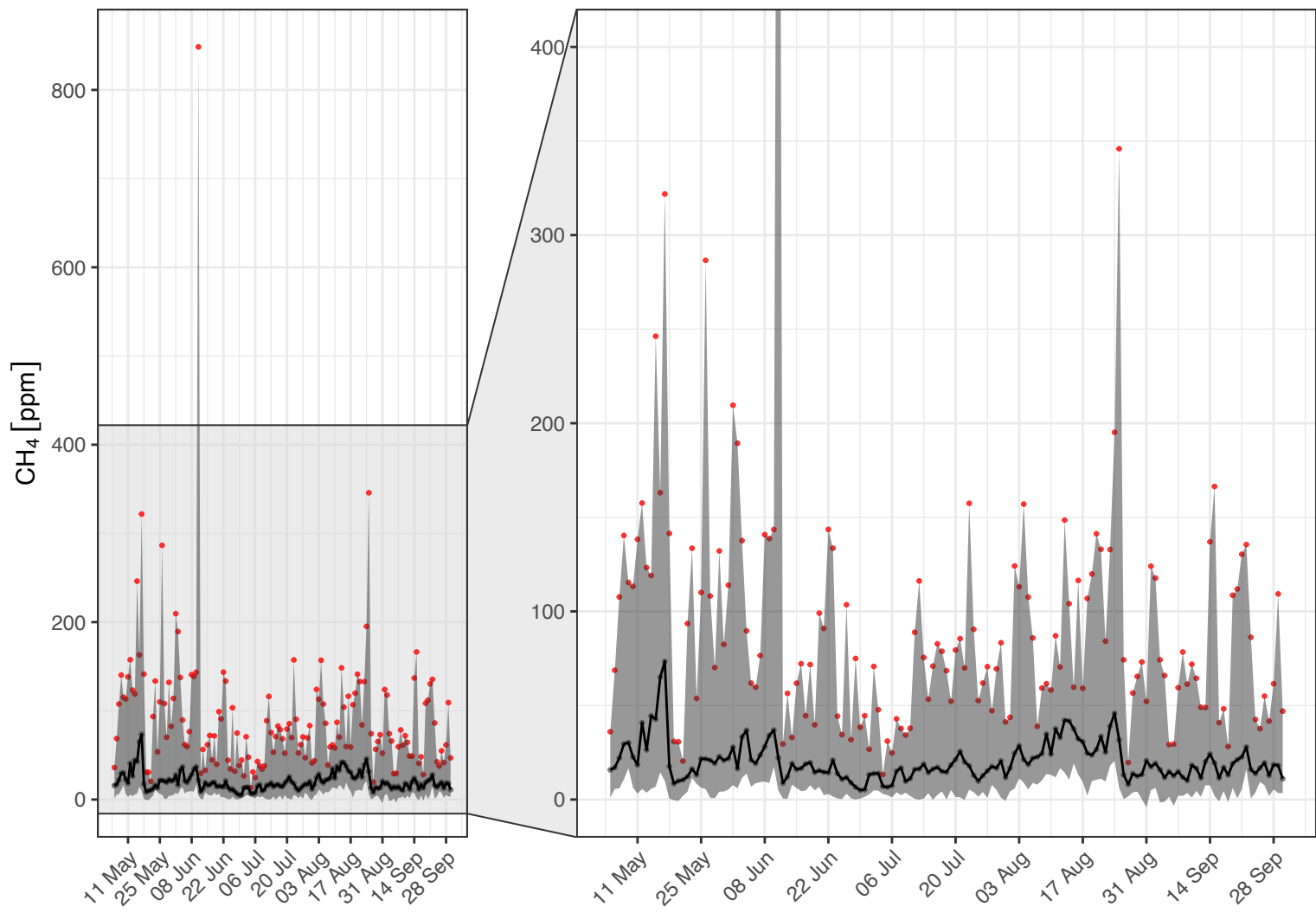
bedrijf 1 Channel 2



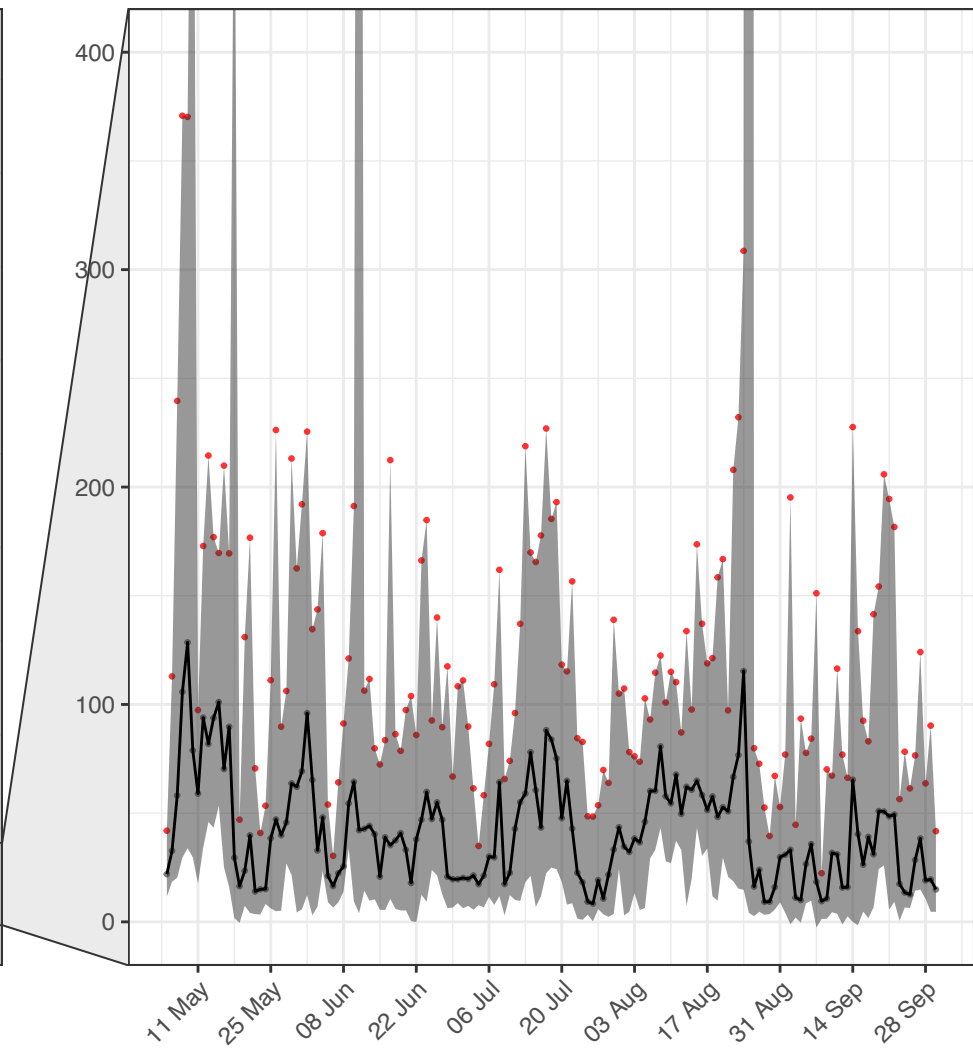
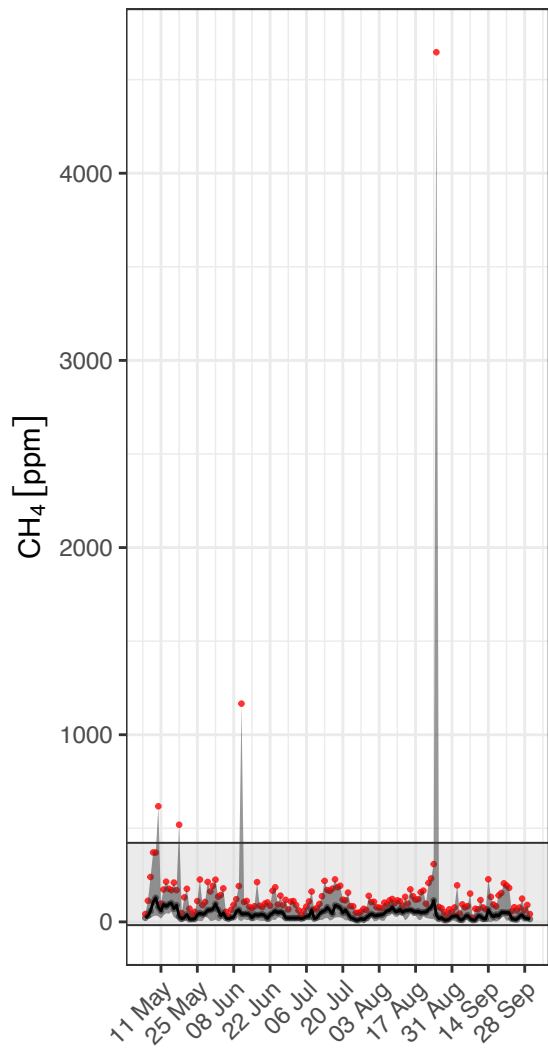
bedrijf 1 Channel 3



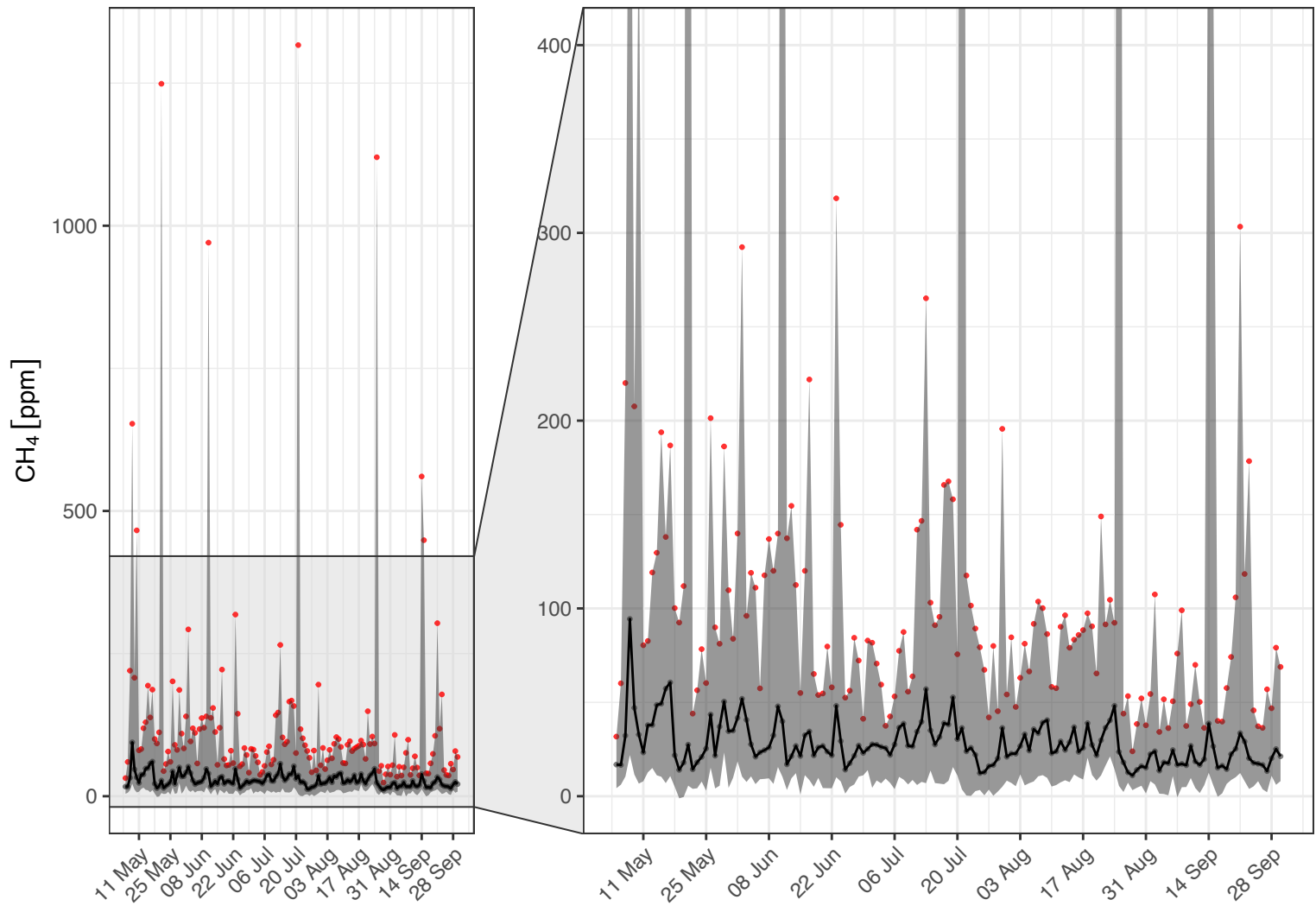
# bedrijf 1 Channel 4



bedrijf 1 Channel 5

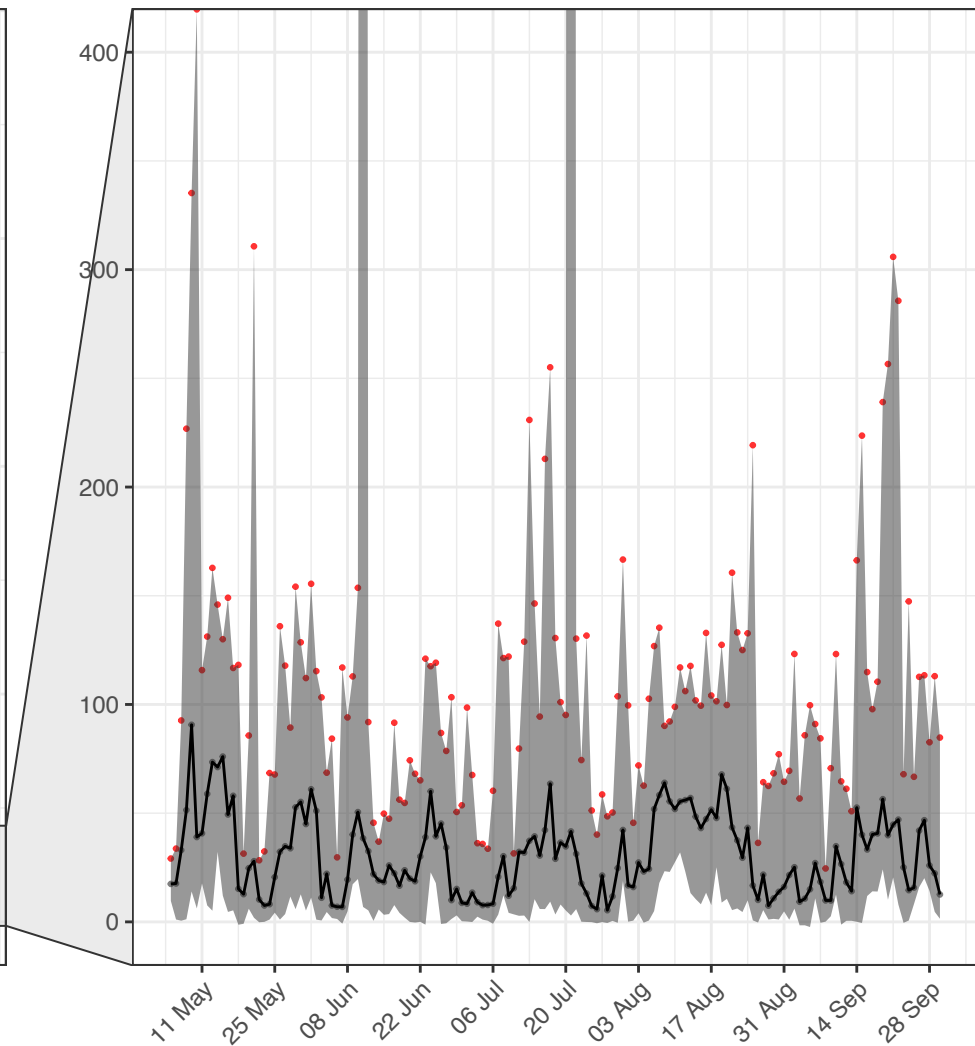
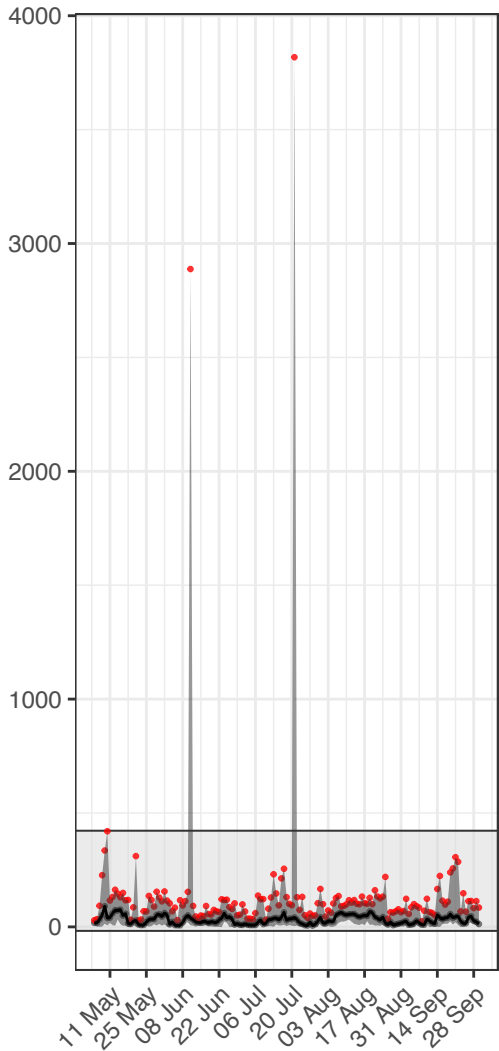


bedrijf 1 Channel 6

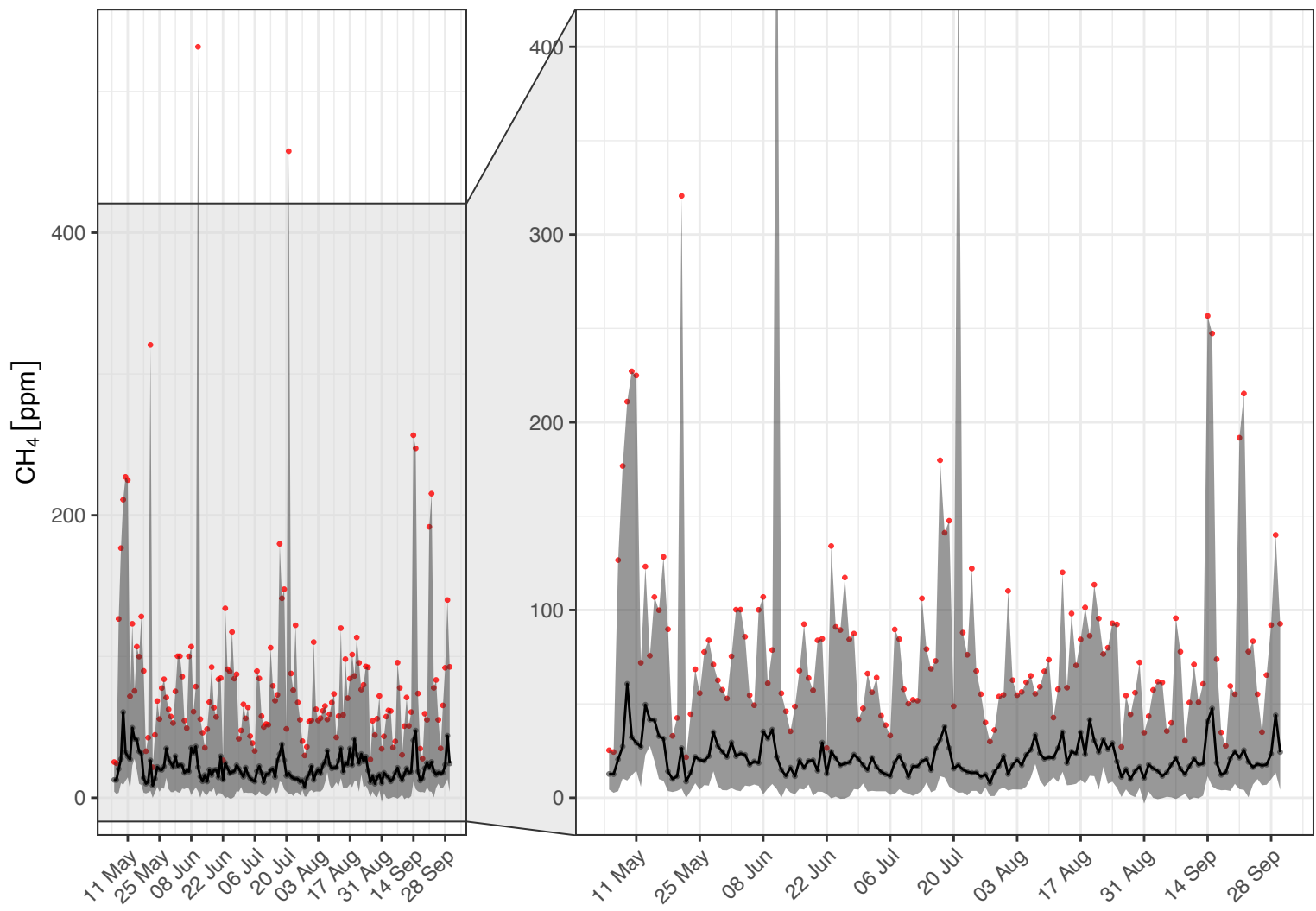




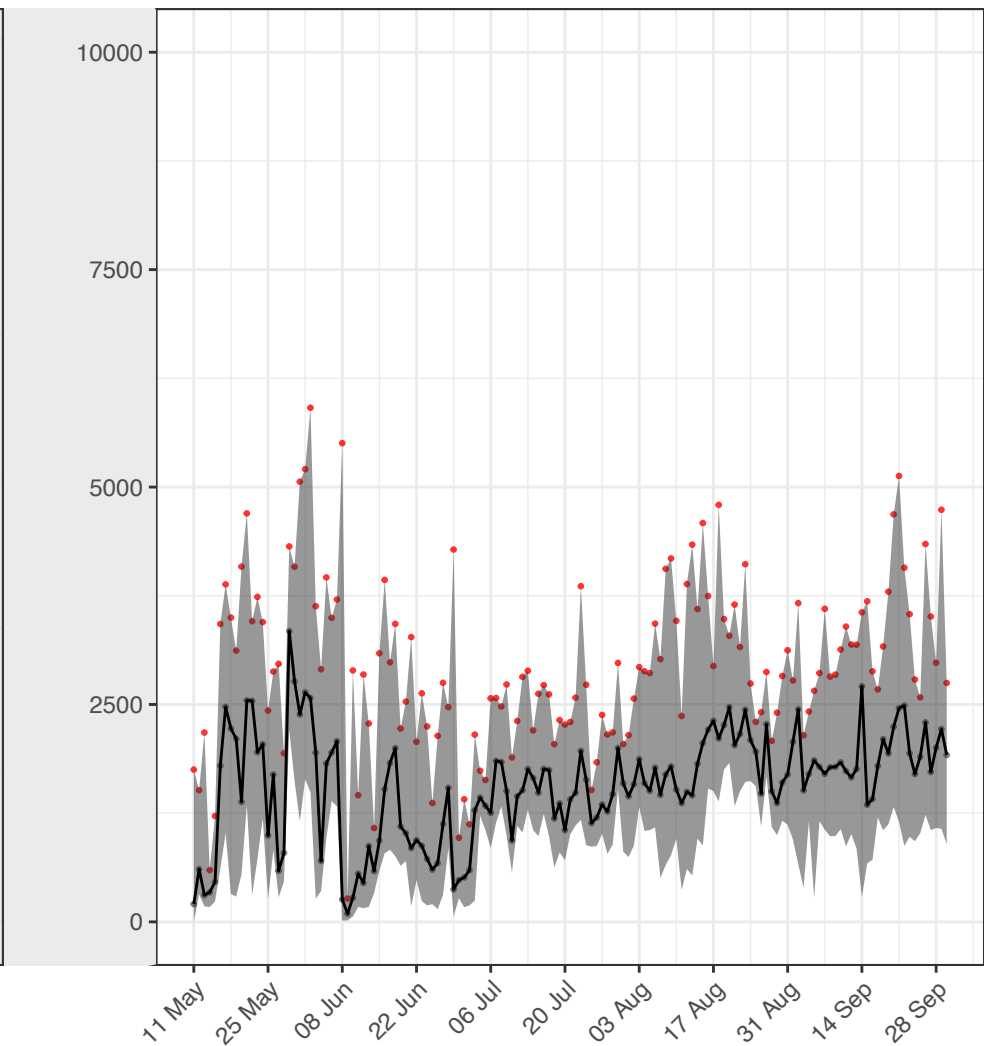
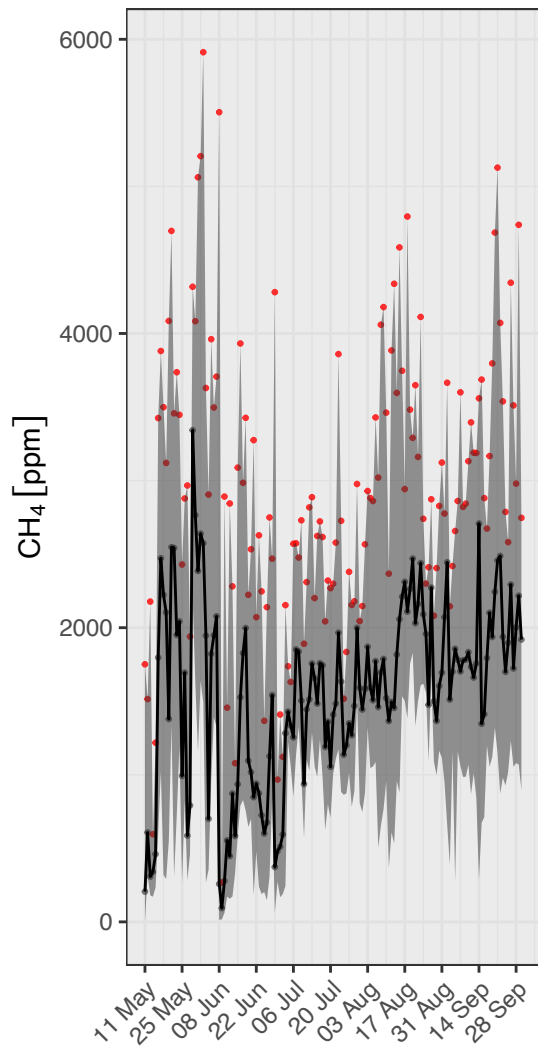
bedrijf 1 Channel 7



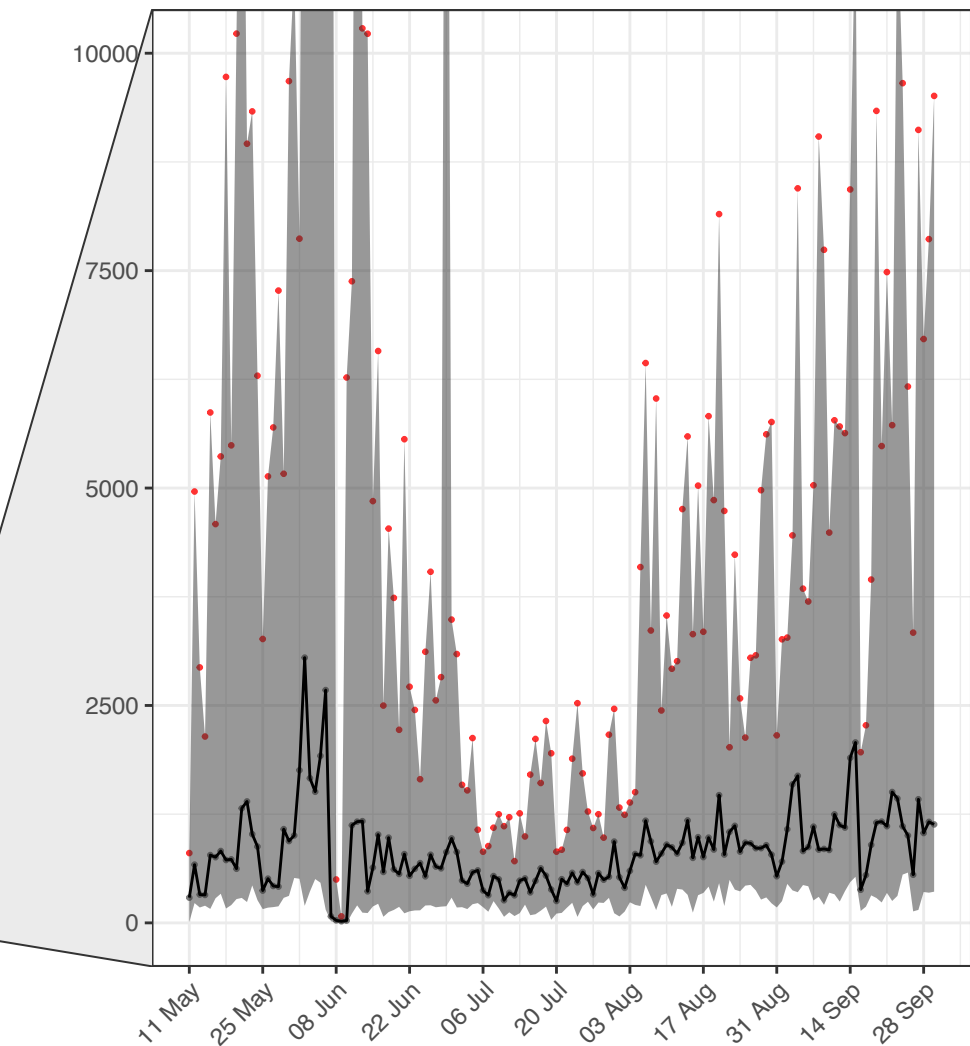
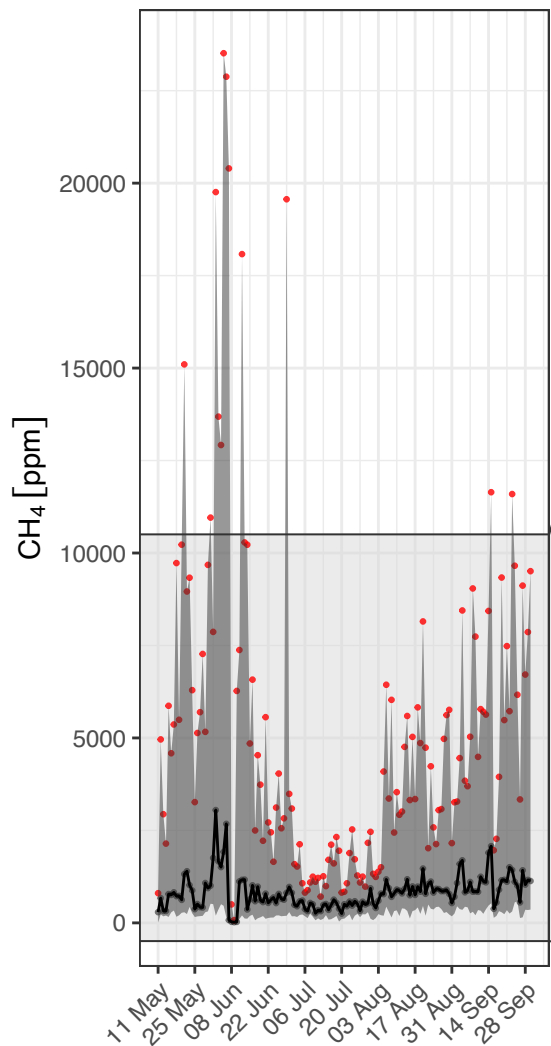
# bedrijf 1 Channel 8



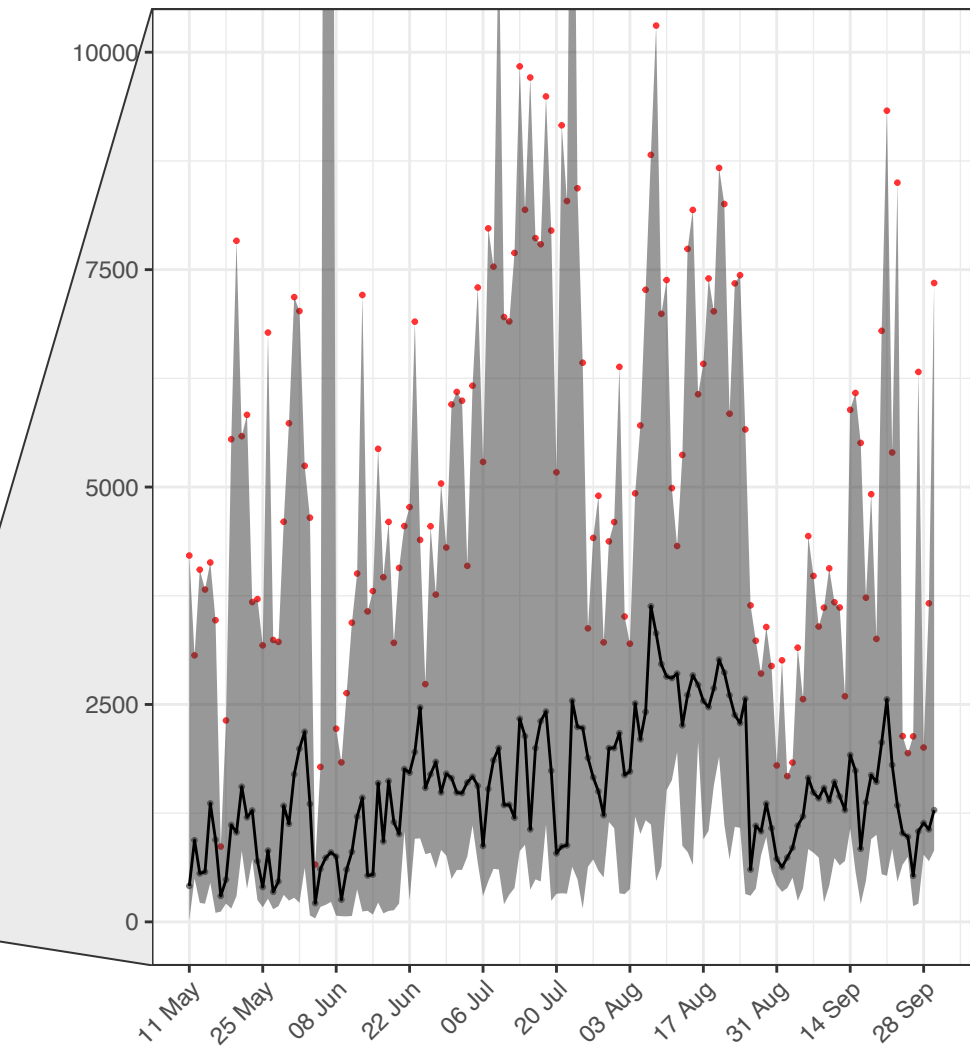
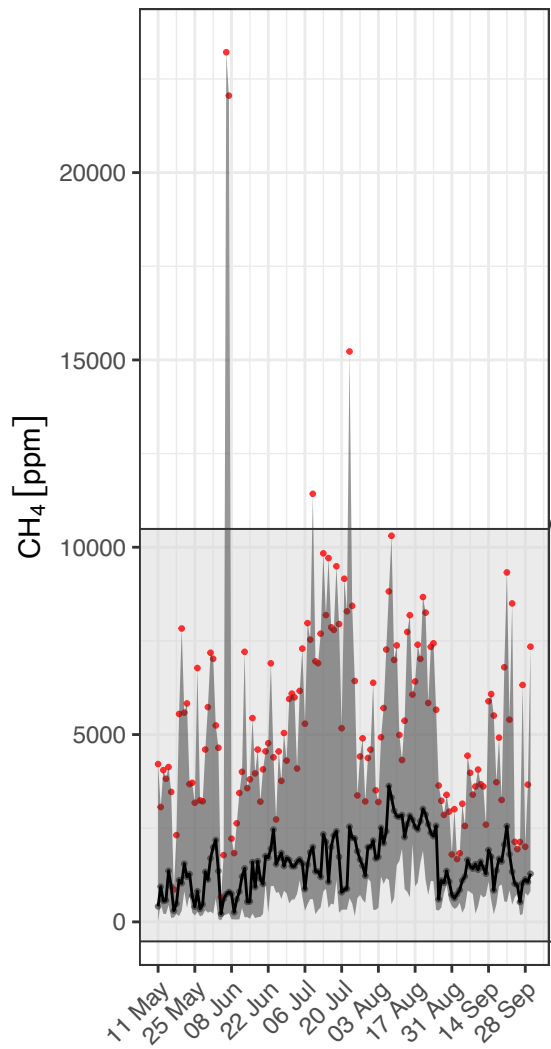
bedrijf 2 Channel 1



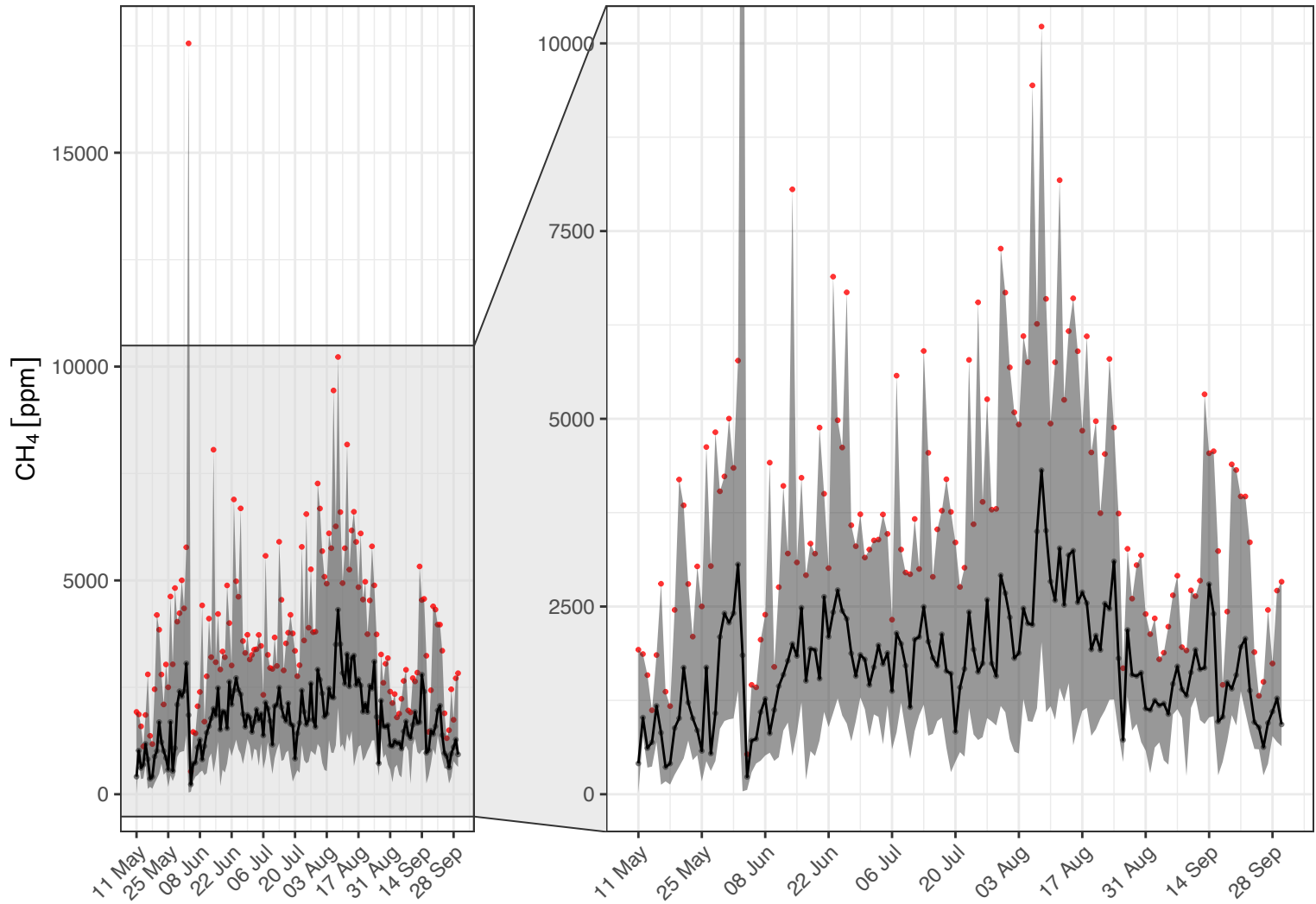
# bedrijf 2 Channel 2



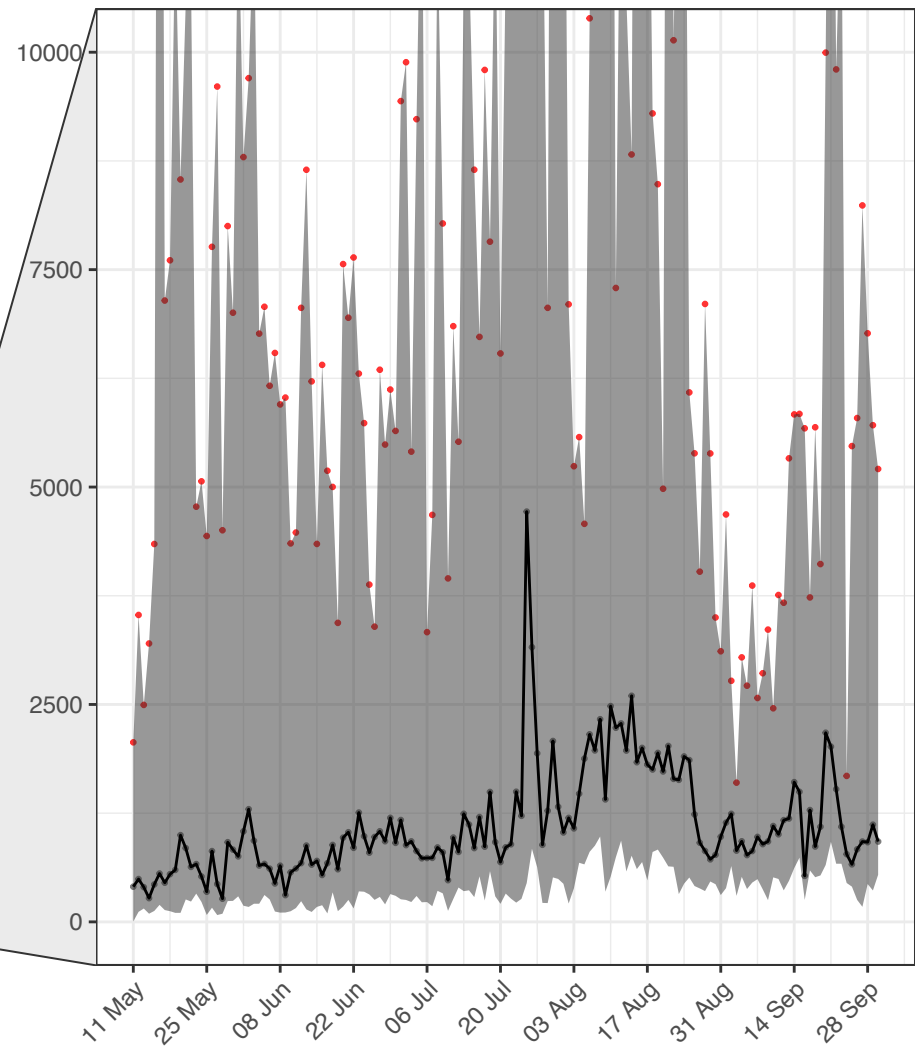
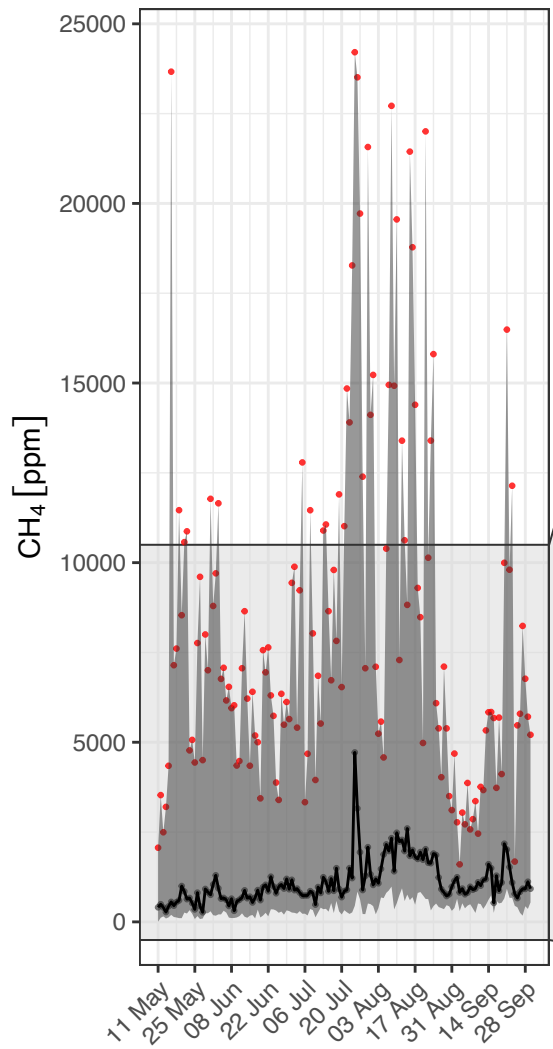
# bedrijf 2 Channel 3



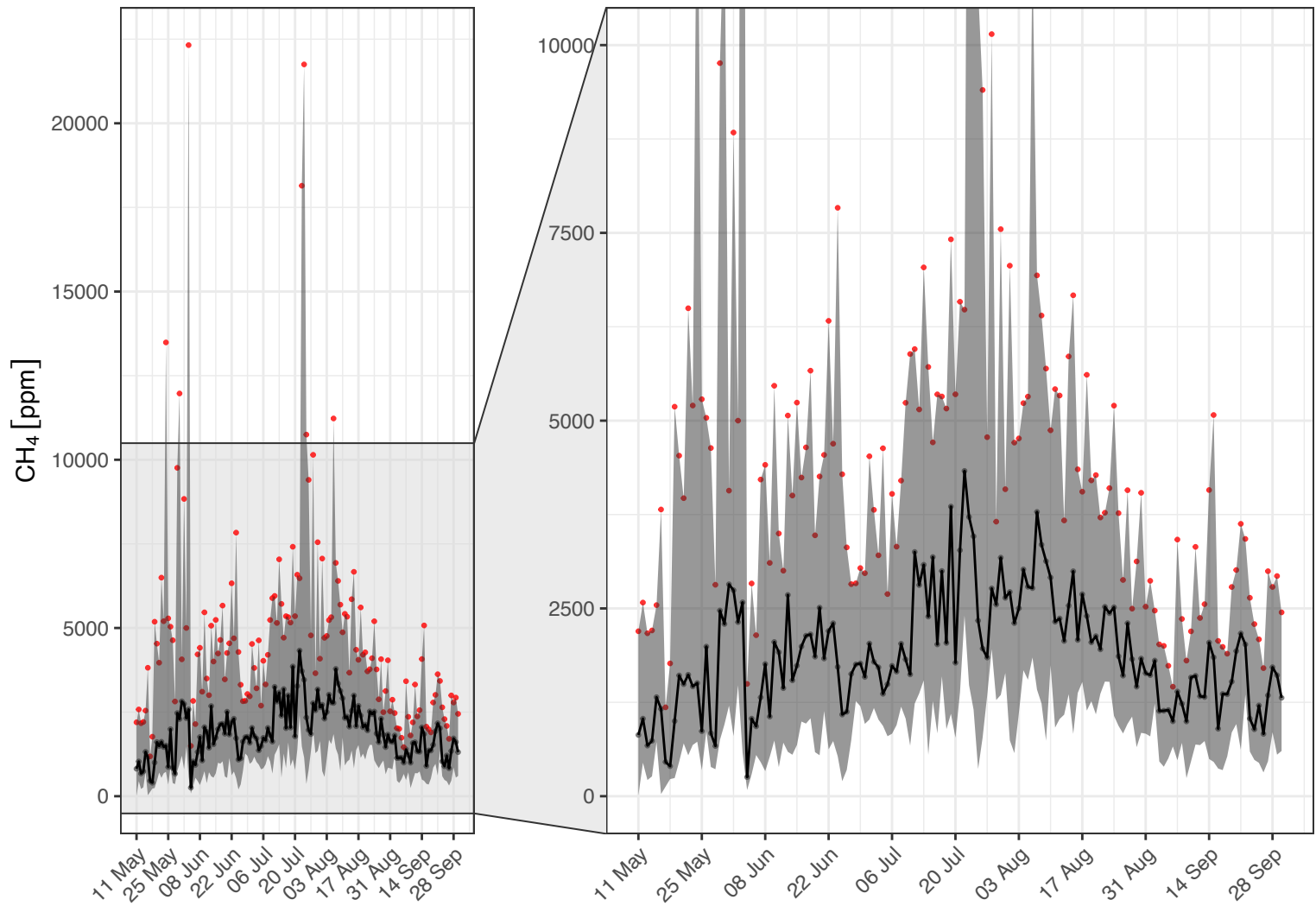
# bedrijf 2 Channel 4



# bedrijf 2 Channel 5

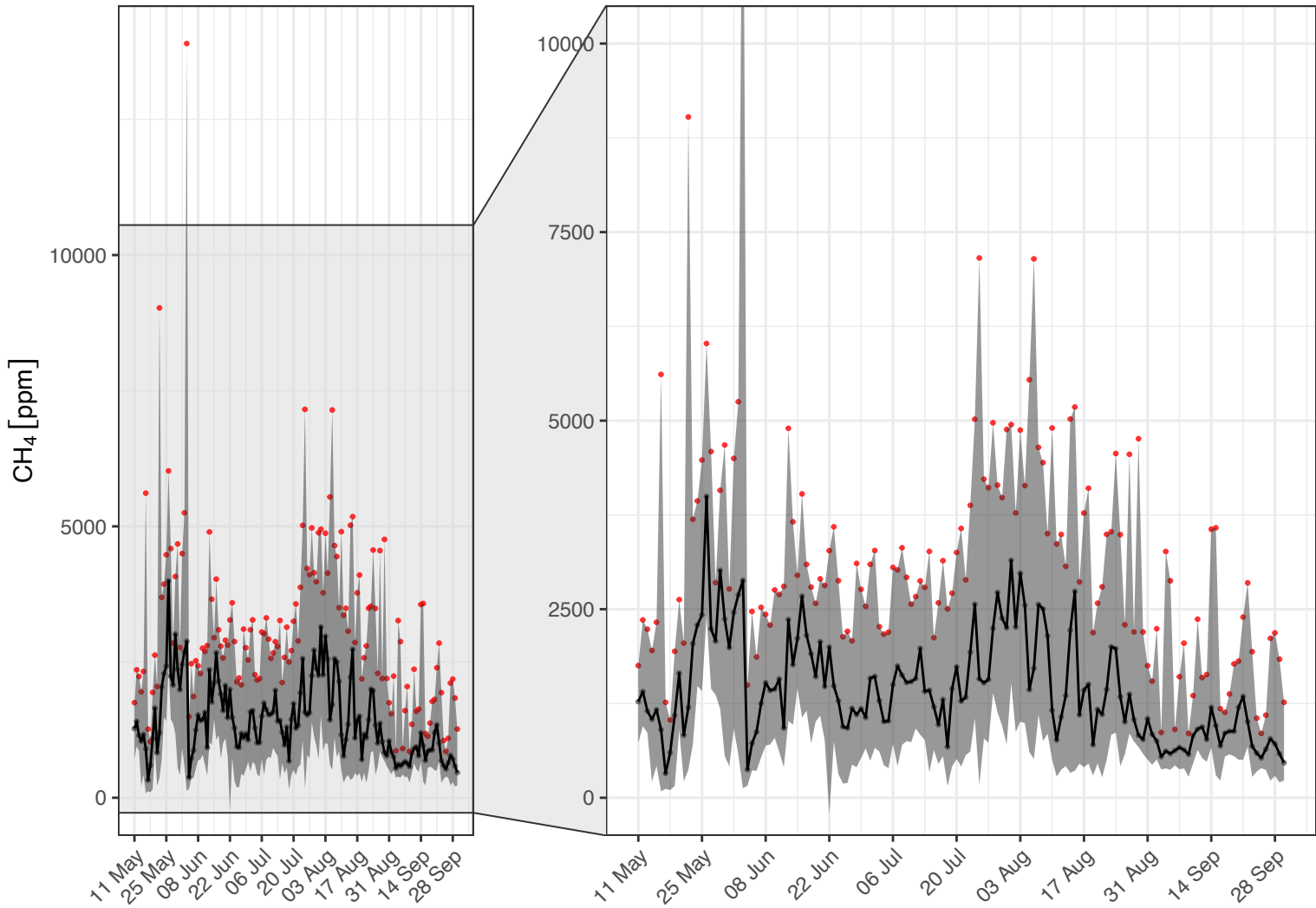


# bedrijf 2 Channel 6

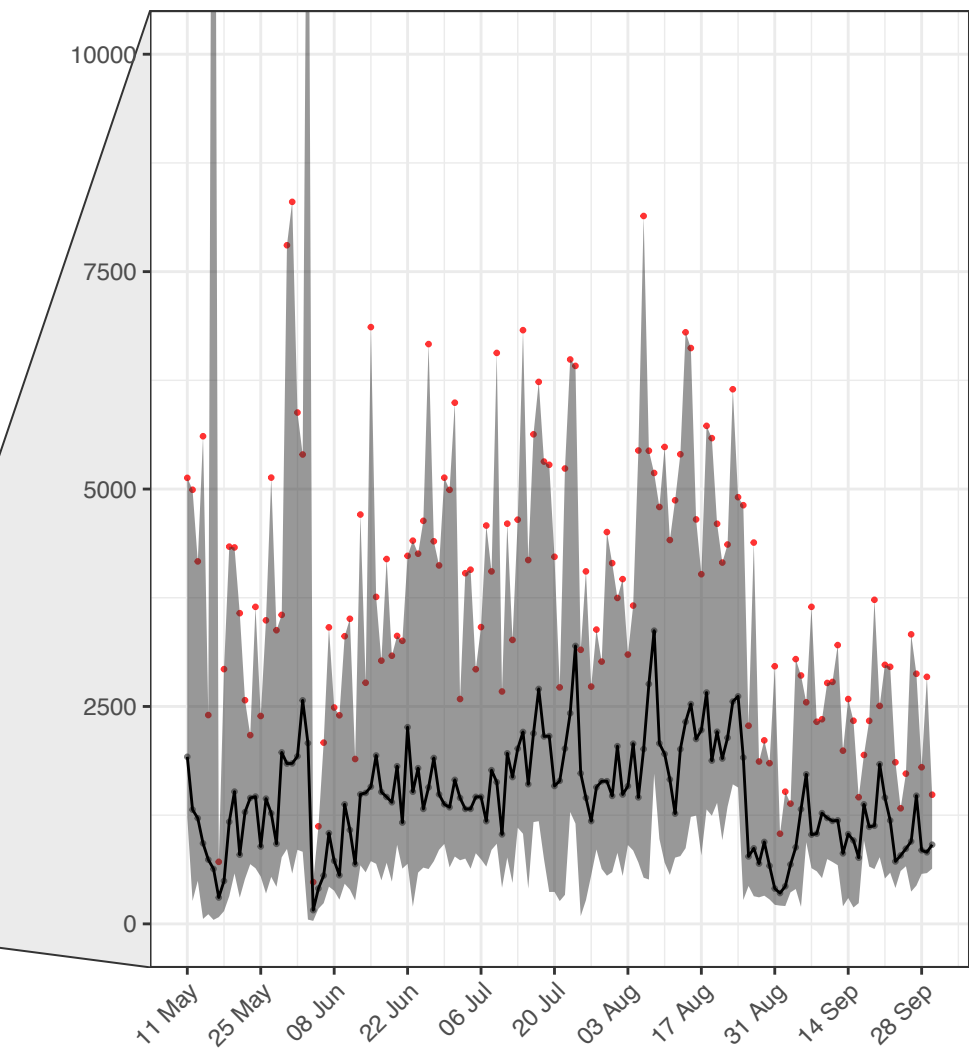
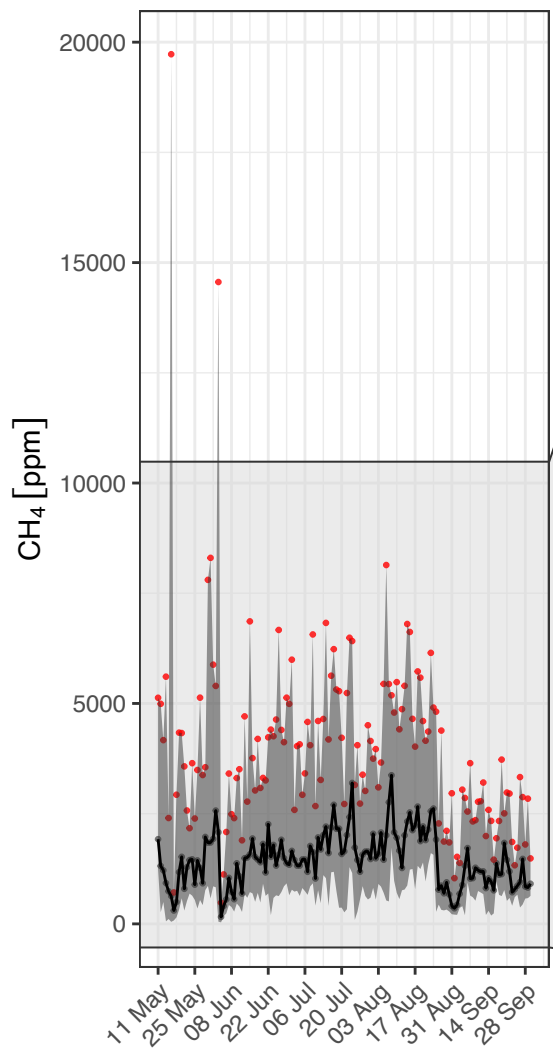




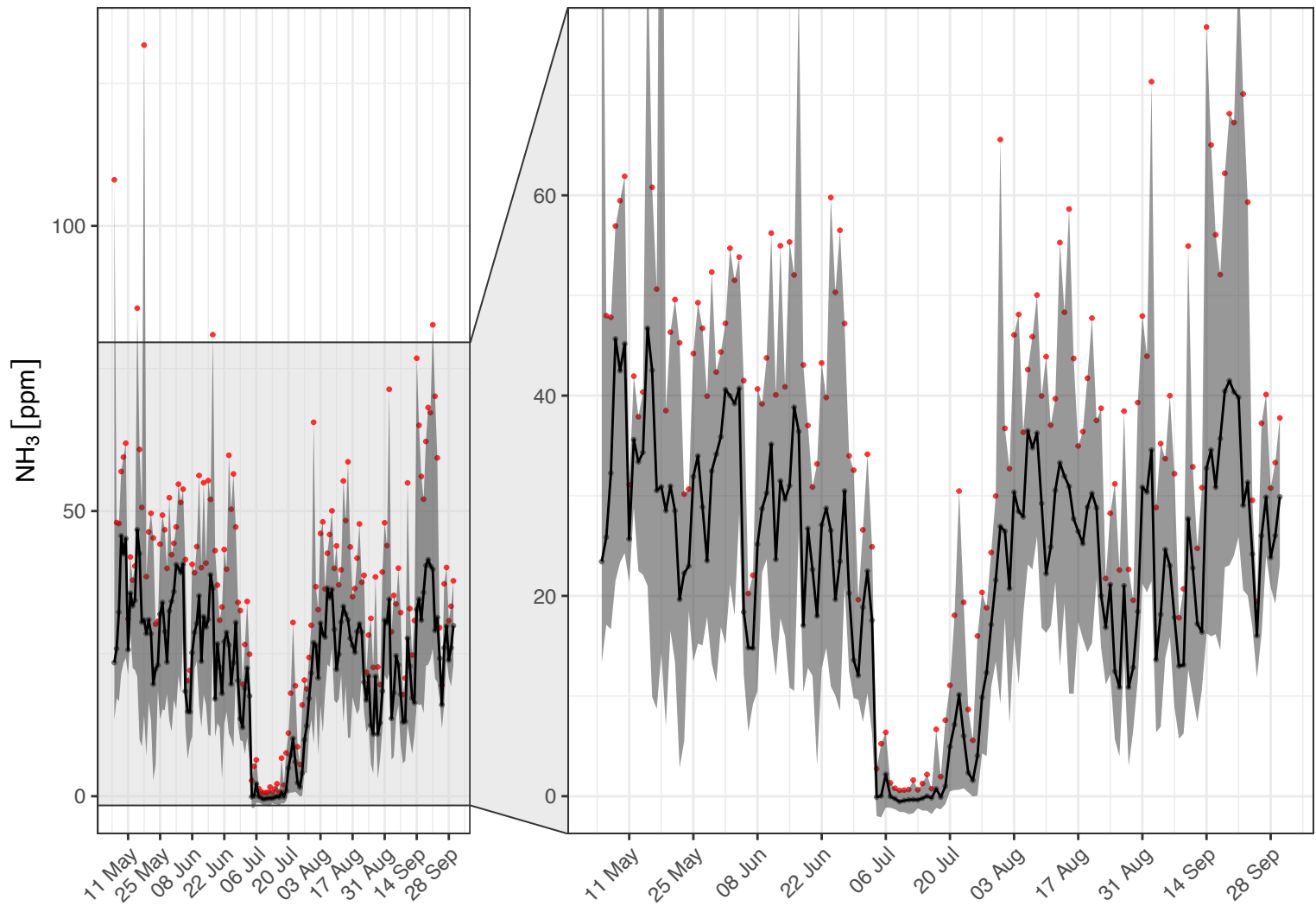
# bedrijf 2 Channel 7



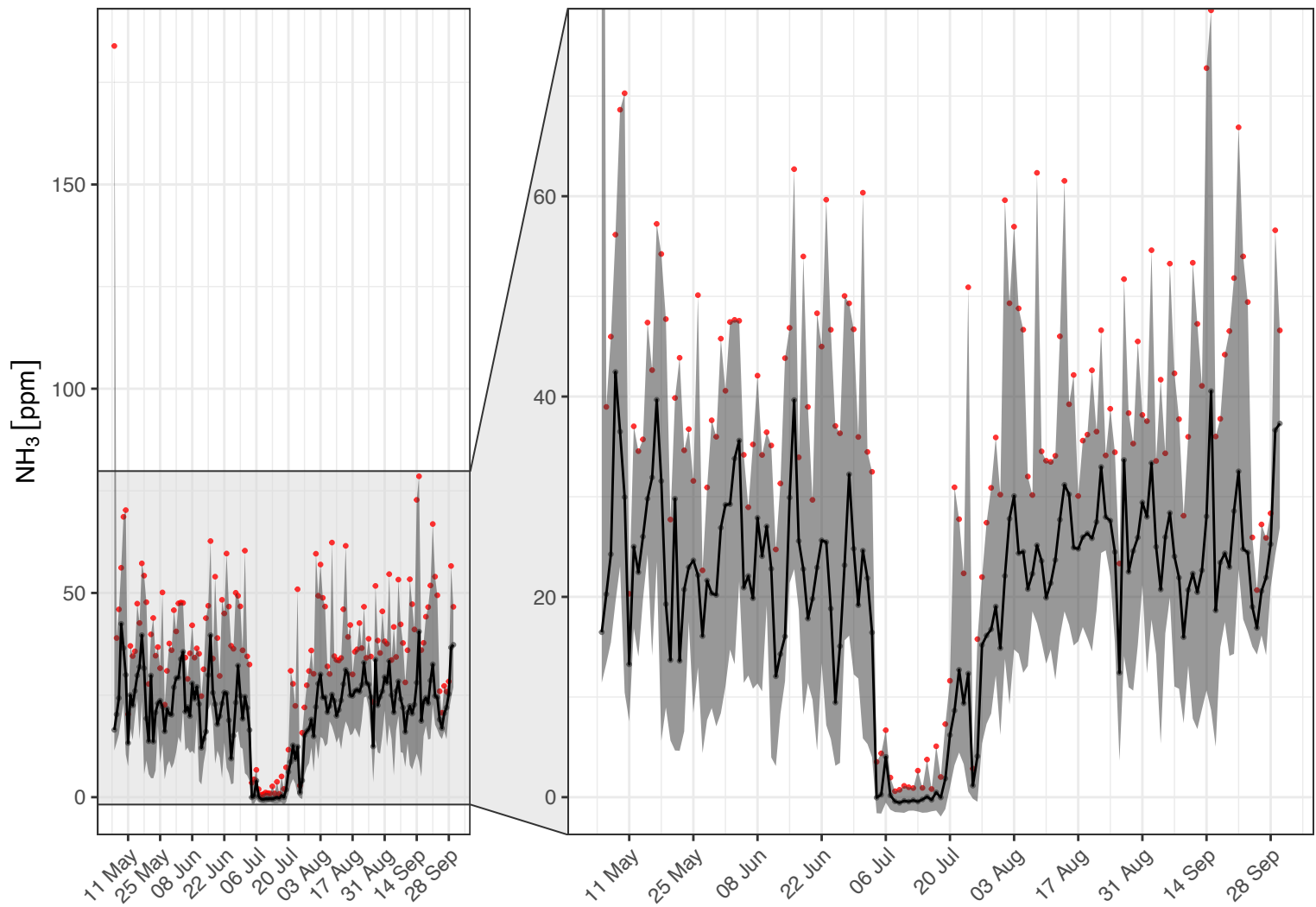
# bedrijf 2 Channel 8



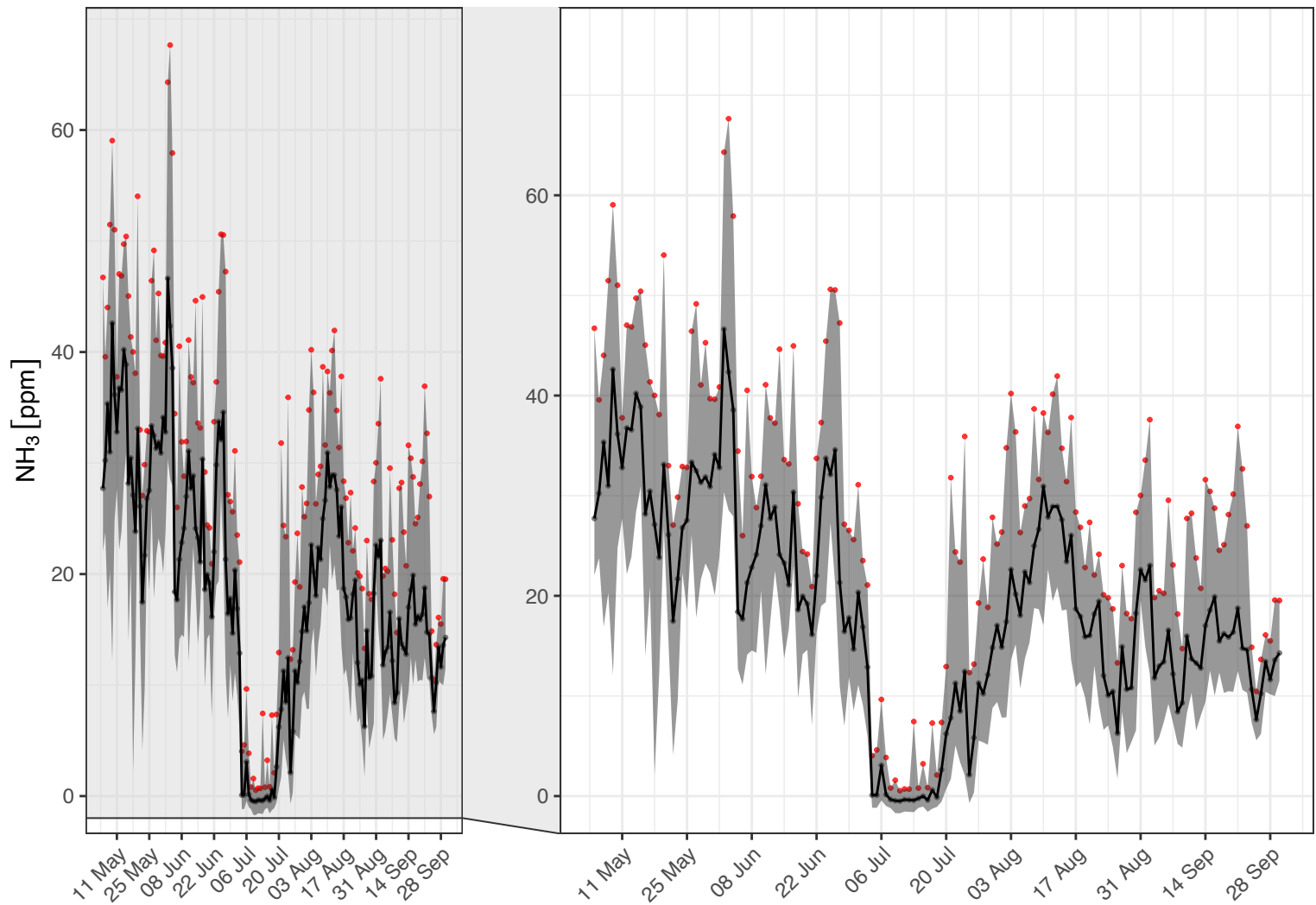
# bedrijf 1 Channel 1



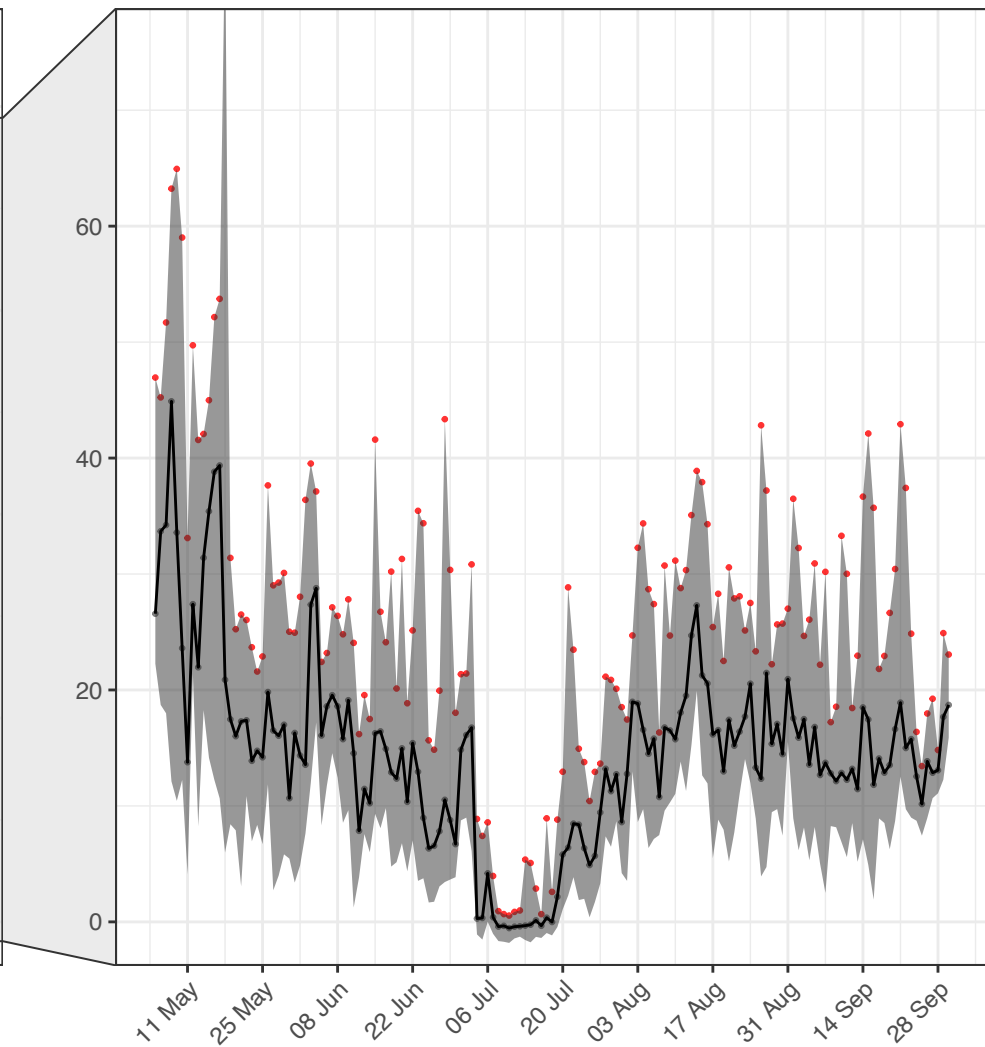
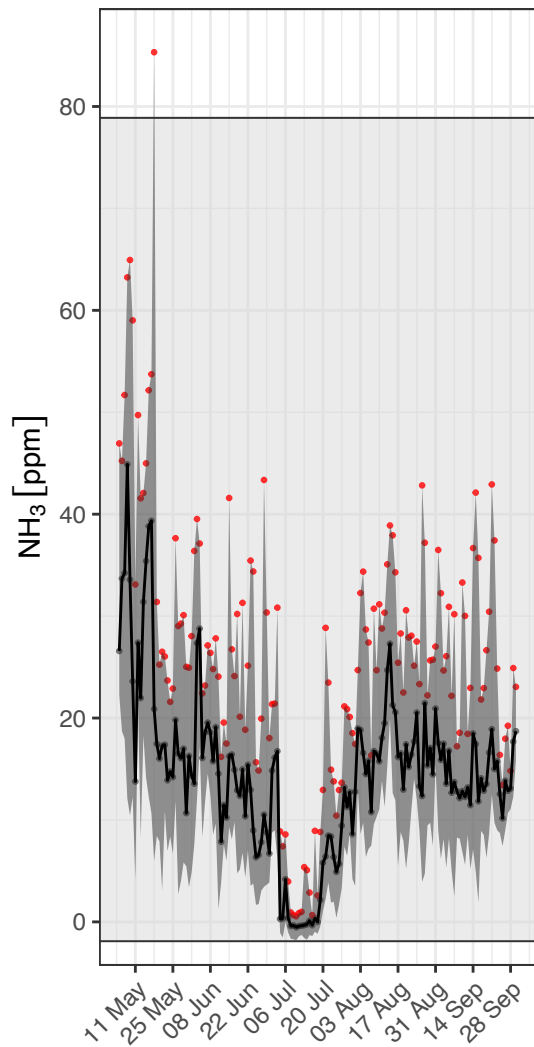
bedrijf 1 Channel 2



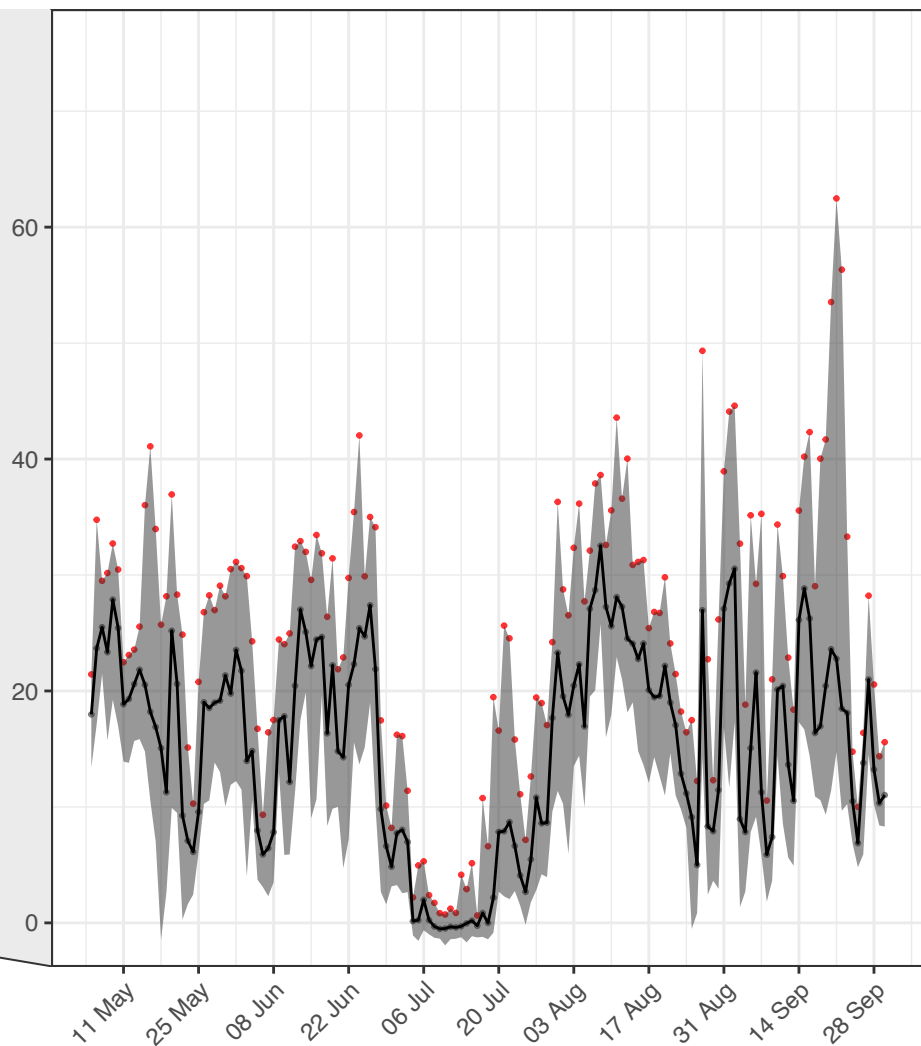
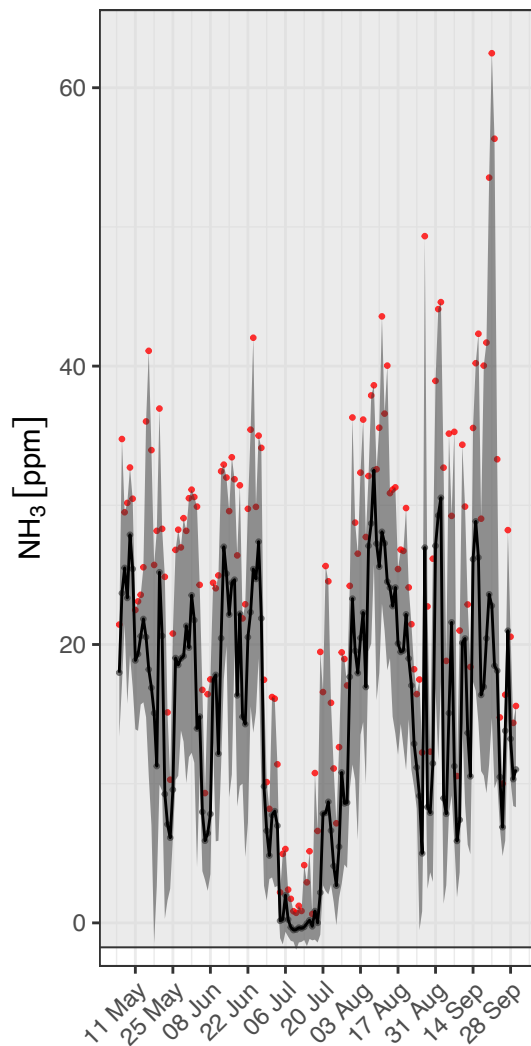
bedrijf 1 Channel 3



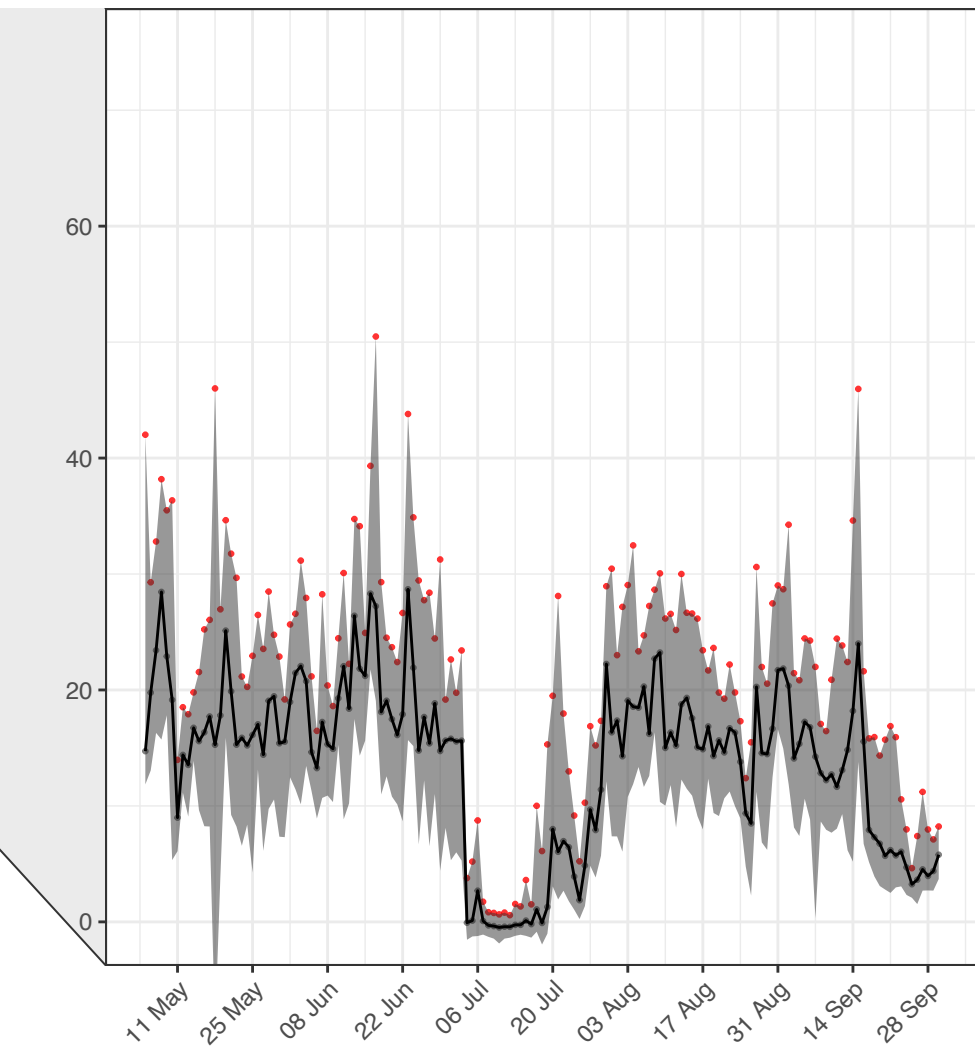
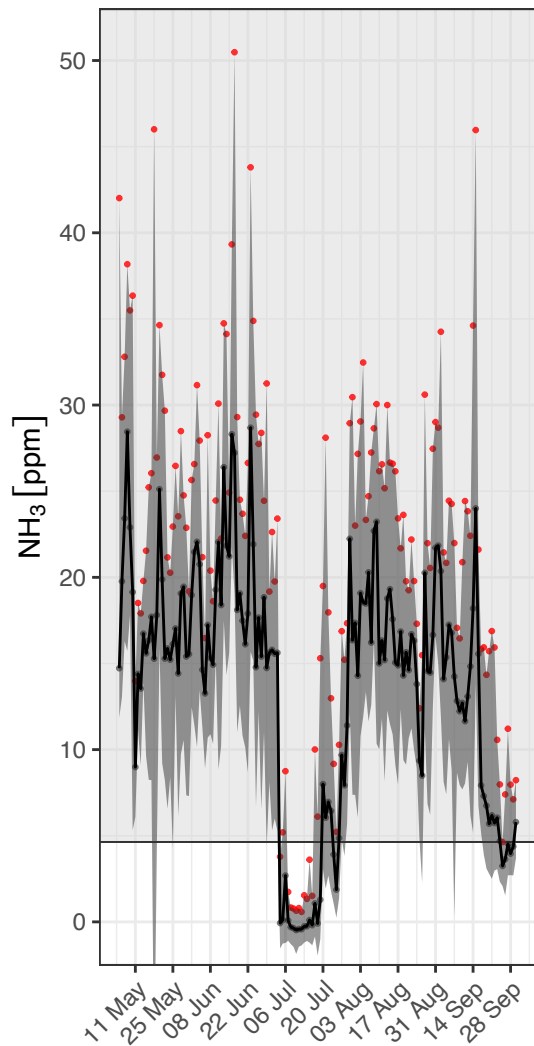
bedrijf 1 Channel 4



# bedrijf 1 Channel 5

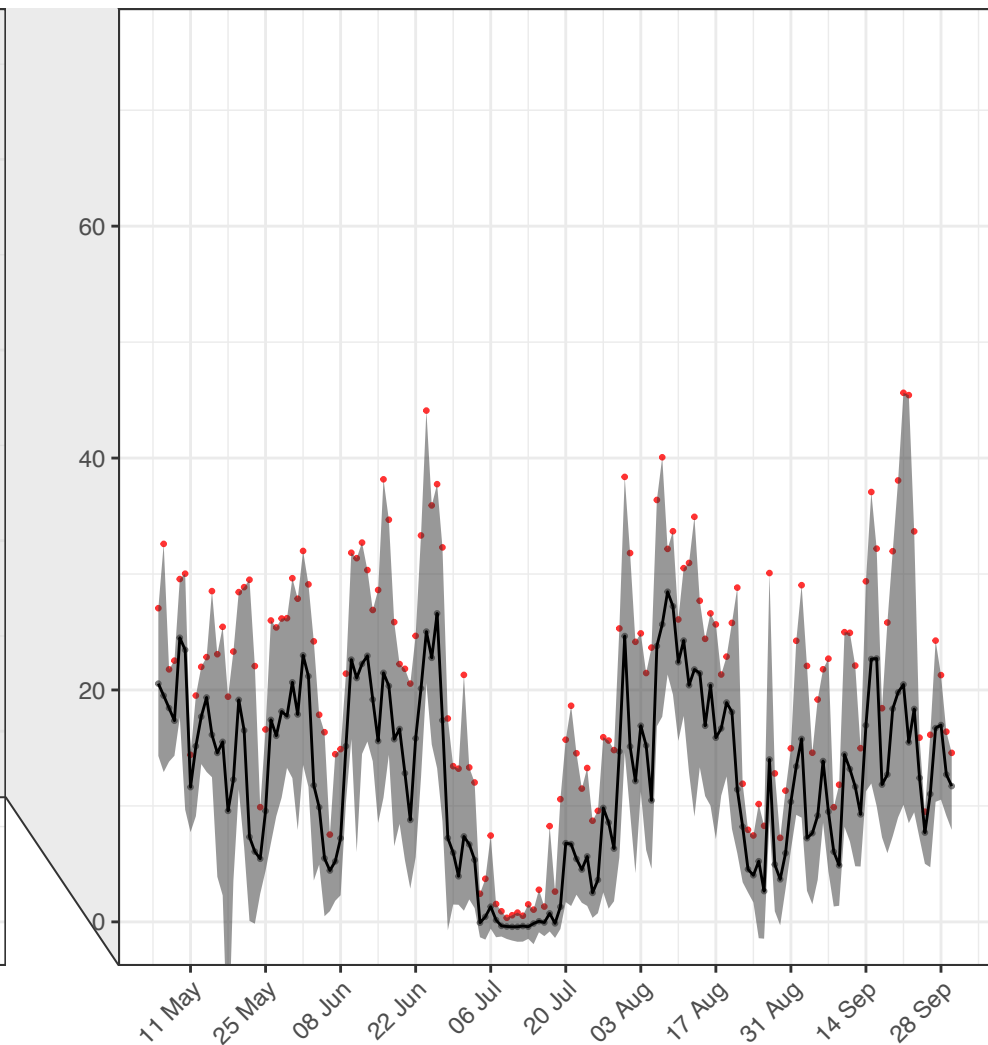
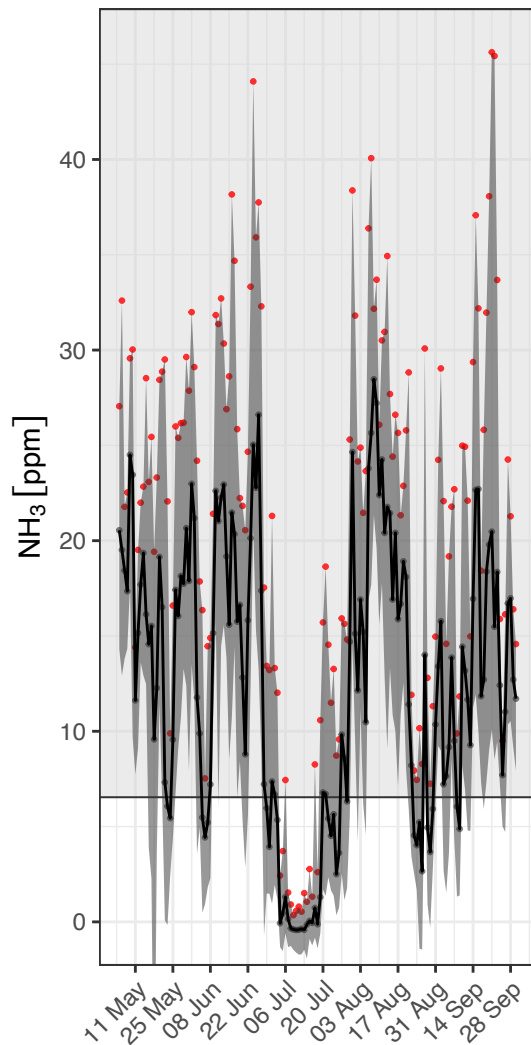


# bedrijf 1 Channel 6

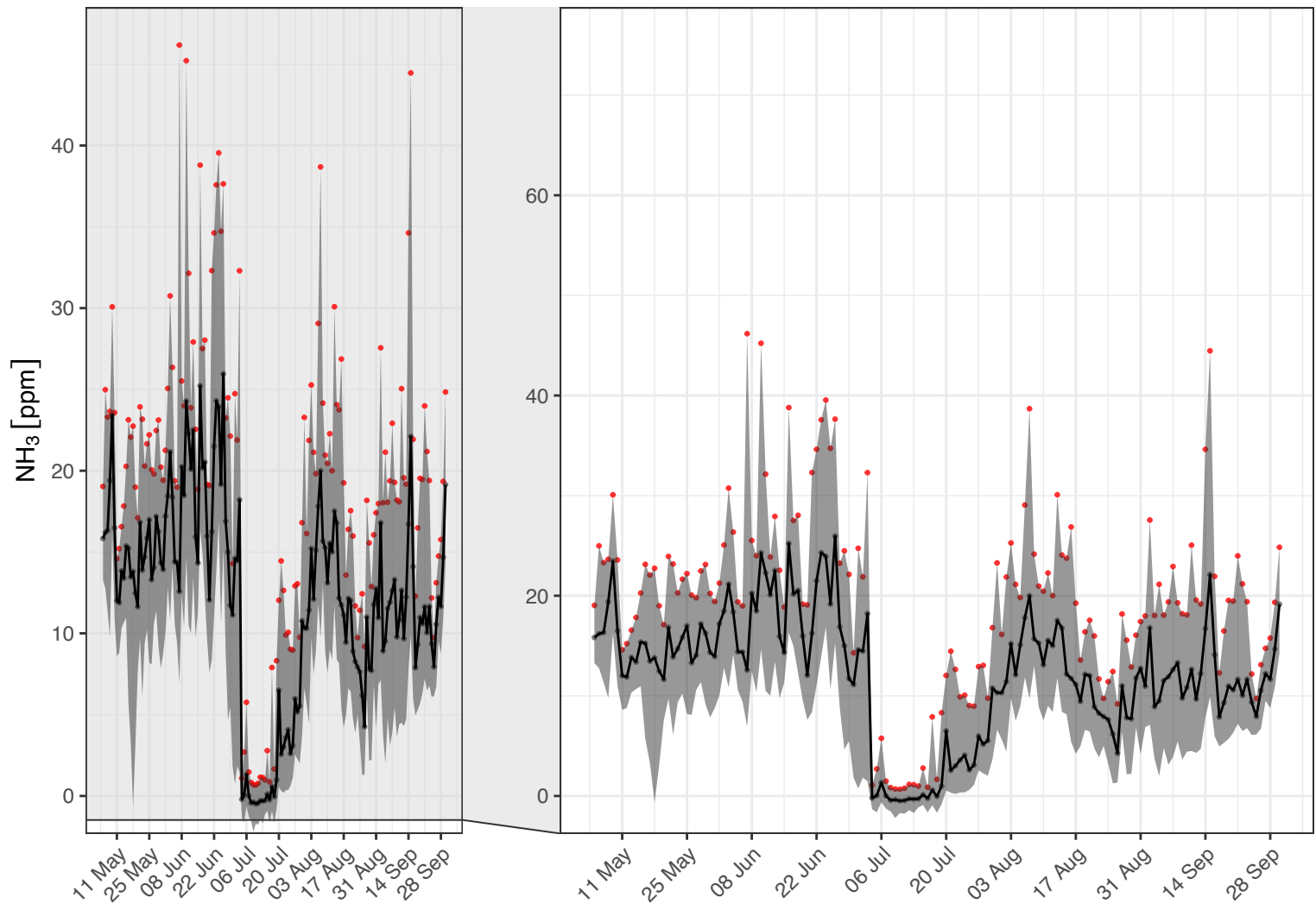




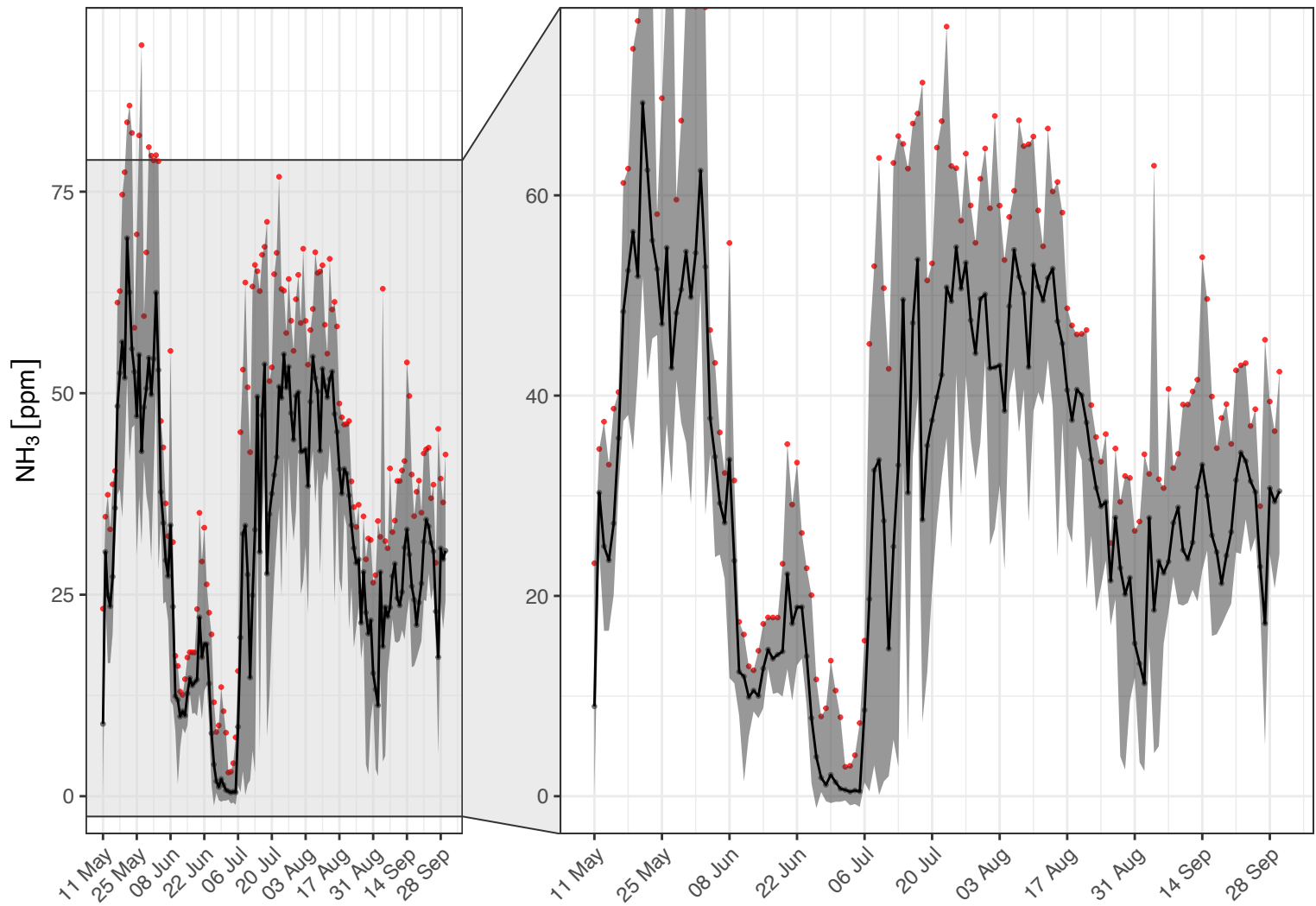
# bedrijf 1 Channel 7



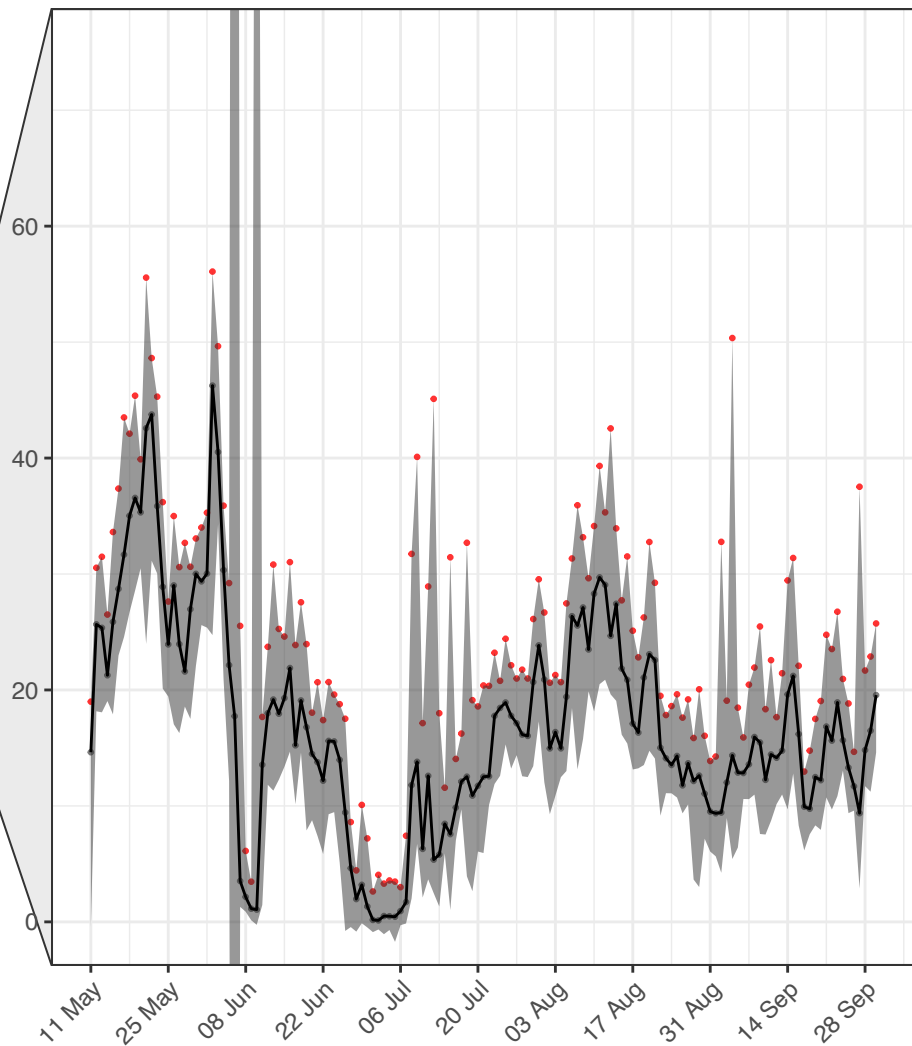
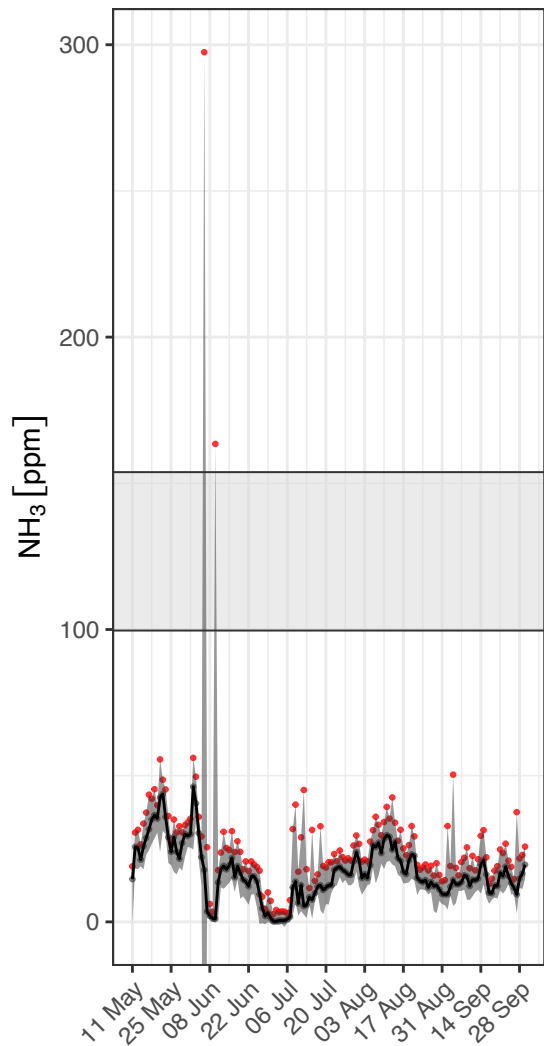
# bedrijf 1 Channel 8



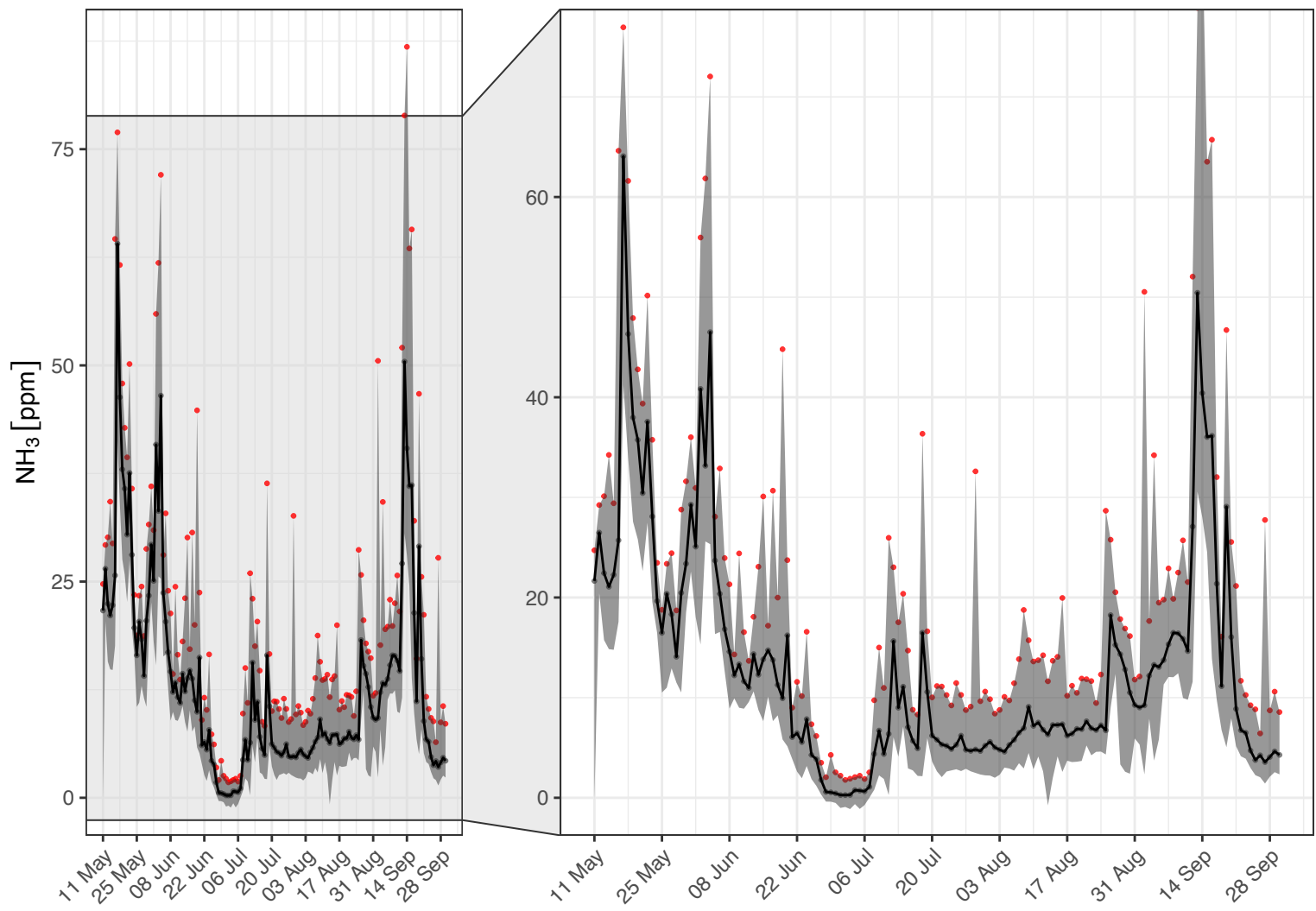
# bedrijf 2 Channel 1



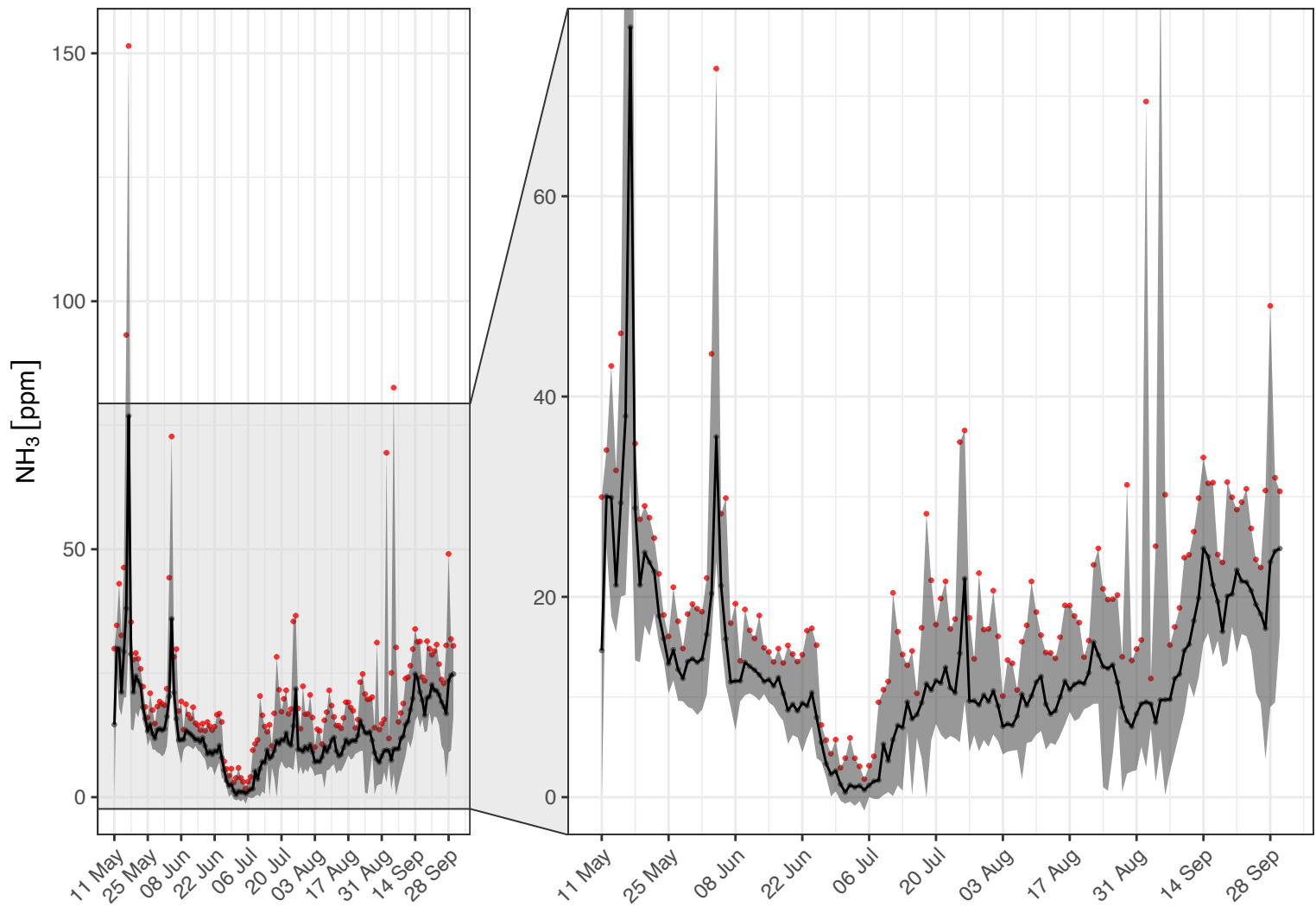
# bedrijf 2 Channel 2



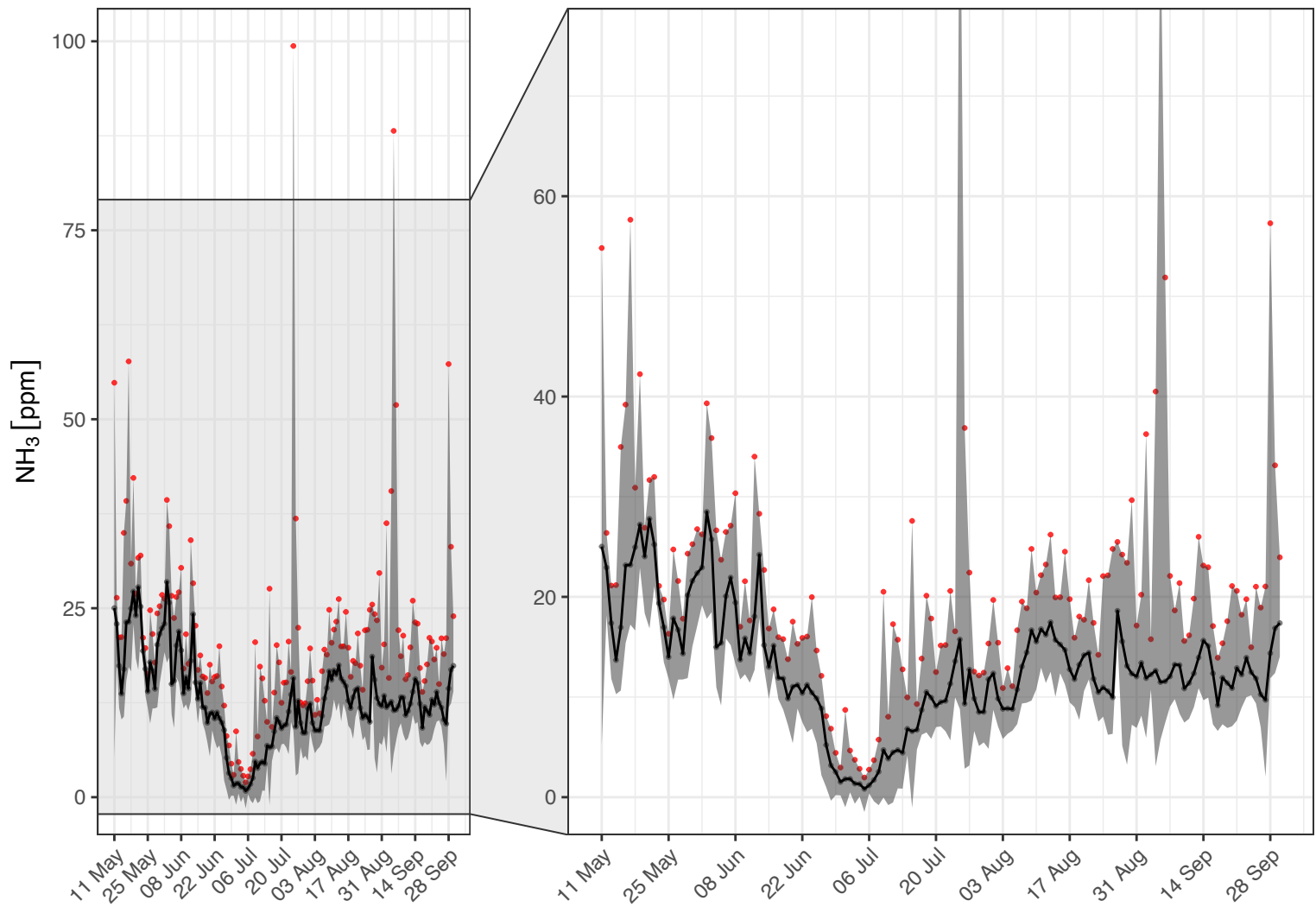
# bedrijf 2 Channel 3



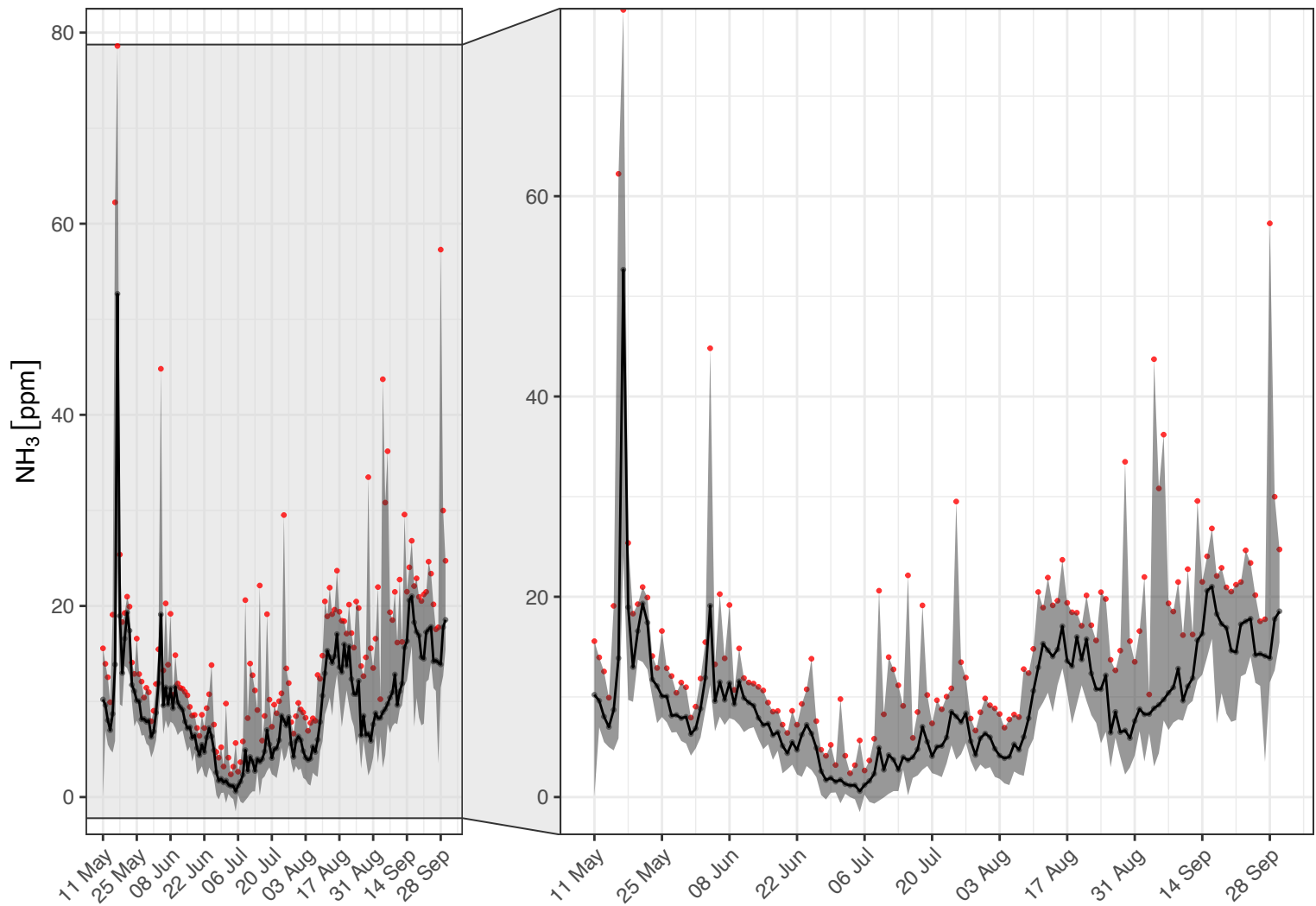
# bedrijf 2 Channel 4



# bedrijf 2 Channel 5

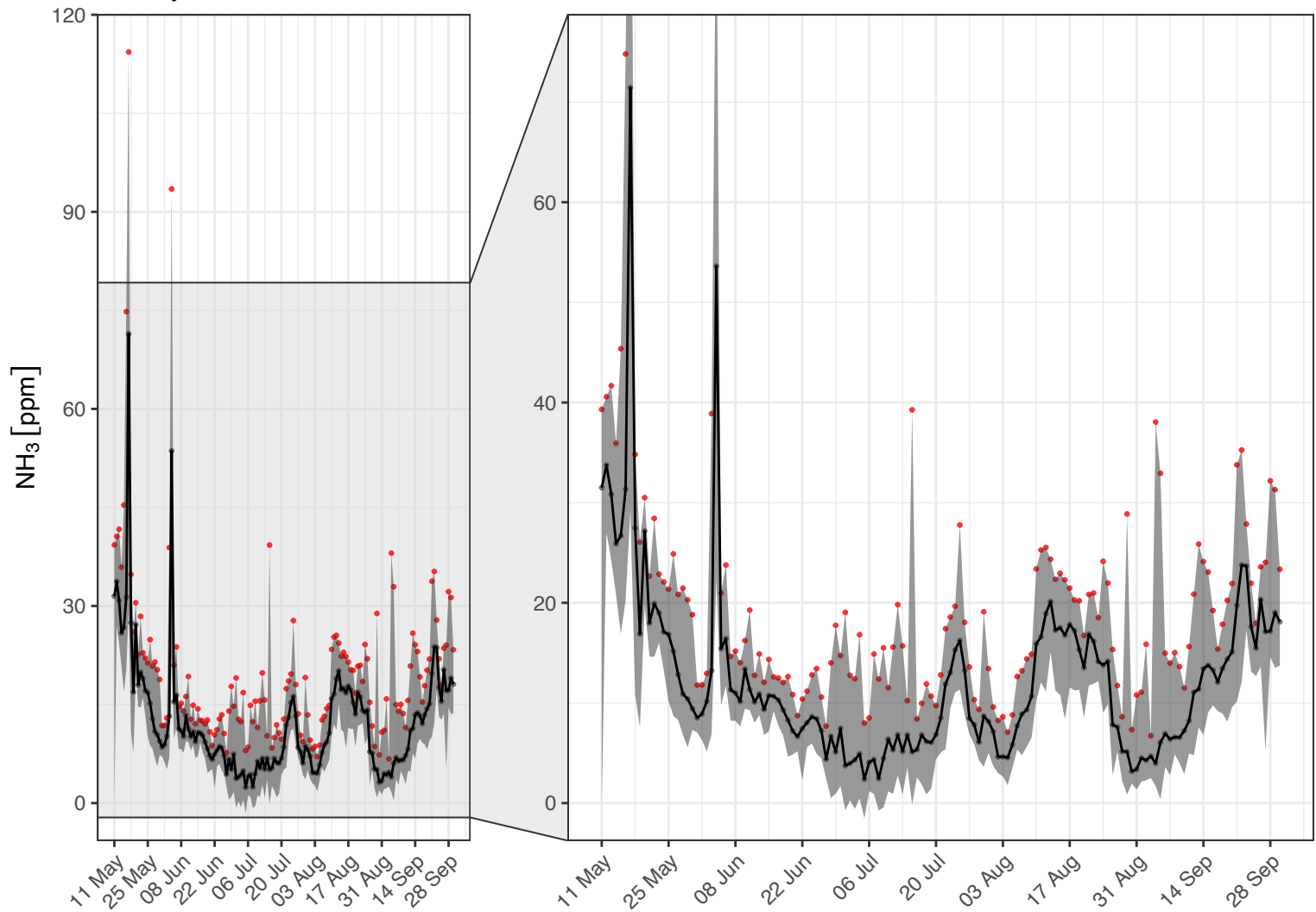


# bedrijf 2 Channel 6

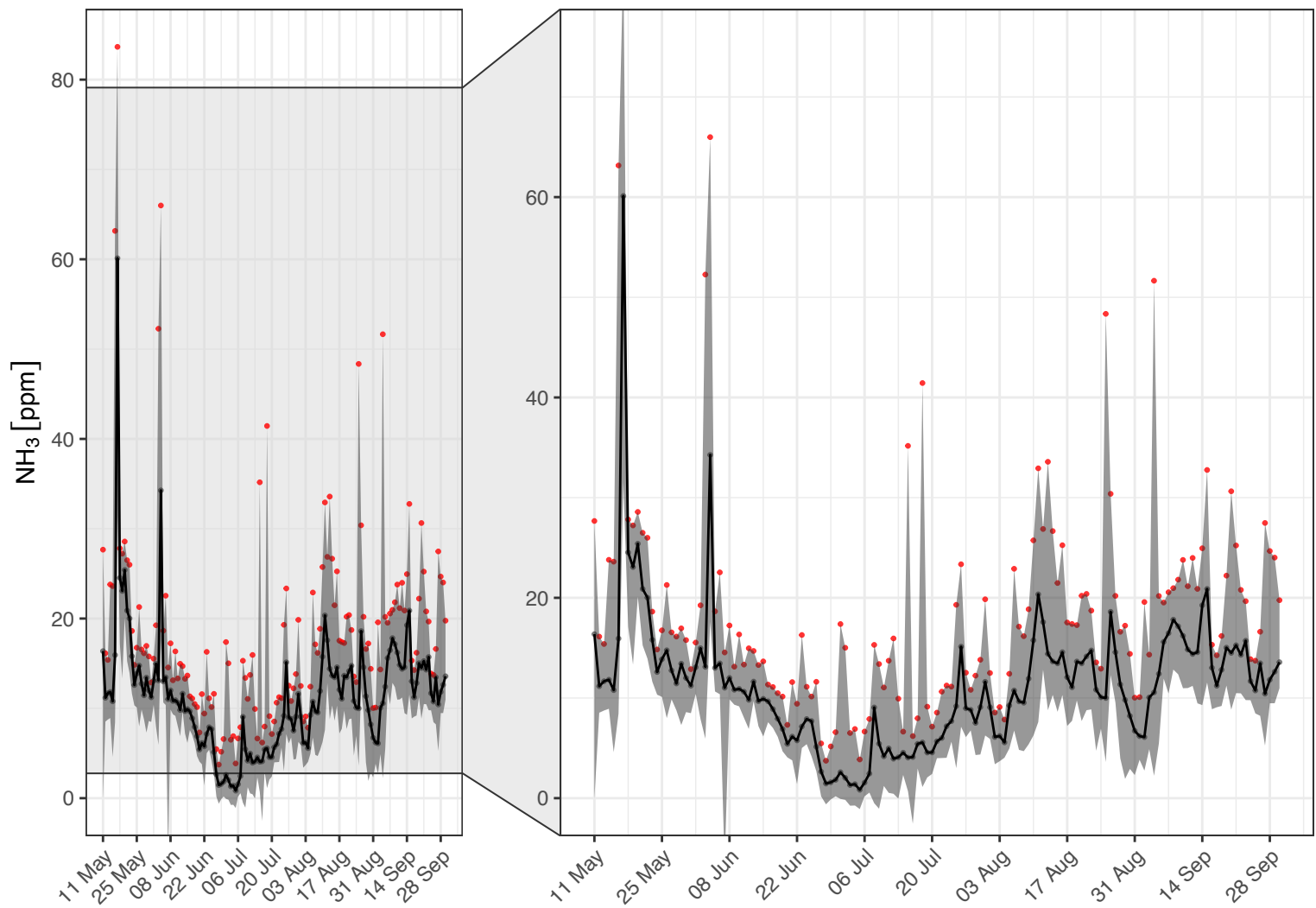




# bedrijf 2 Channel 7



# 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)