Emissiemetingen stallen voor biologisch gehouden leghennen

Onderzoek naar emissies uit twee stallen met biologische leghennen

Hilko Ellen, Yvo Goselink, Guus Nijeboer

Rapport 1335

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Emissiemetingen stallen voor biologisch gehouden leghennen

Onderzoek naar emissies uit twee stallen met biologische leghennen

Hilko Ellen, Yvo Goselink, Guus Nijeboer

Wageningen Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema Mest, milieu en klimaat (projectnummer BO-43-012.02-046).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, september 2021

Rapport 1335

Ellen, H., Y. Goselink, G. Nijeboer, 2021. *Emissiemetingen stallen voor biologisch gehouden leghennen; Onderzoek naar emissies uit twee stallen met biologische leghennen.* Wageningen Livestock Research, Rapport 1335.

In dit rapport worden de resultaten beschreven van emissiemetingen aan twee volièrestallen met biologische leghennen. De biologische legpluimveehouderij verschilt op een aantal punten van regulier gehouden pluimvee, dat gaf aanleiding om emissiemetingen uit te voeren in deze sector. Metingen zijn uitgevoerd in twee stallen met elk 12.000 bruine leghennen. De metingen bestaan uit T, RV, CO_2, CH_4, N_2O, NH_3, geur en PM_{10}. Hier komen de volgende emissiewaardes uit:

- Ammoniakemissie: 0,174 (± 0,075) kg/dierplaats per jaar
- Methaanemissie: 17,6 (± 4,1) g/dierplaats per jaar
- Fijnstofemissie: 89 (± 55) g/dier per jaar
- Geuremissie: 0,449 OU_E/dierplaats per seconde

This report describes the result of emission measurements at two poultry houses containing organic laying hens. Organic laying hens are kept differently from regular housed laying hens, which gave reason for measurements in organic laying poultry houses. Measurements are performed in two houses containing 12.000 brown laying hens each. Measurements consists of T, RH, CO_2, CH_4, N_2O, NH_3, odor and PM_{10}. This resulted in these values:

- Ammonia emission: 0,174 (± 0,075) kg/animal place per year
- Methane emission: 17,6 (± 4,1) g/animal place per year
- Particulate matter emission: 89 (± 55) g/animal per year
- Odor emission: 0,449 OU_E/animal place per second.

Dit rapport is gratis te downloaden op https://doi.org/10.18174/553814 of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2021 Wageningen Livestock Research
Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wur.nl/livestock-research. Wageningen Livestock Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2021
De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1335

Inhoud

Woord vooraf **5**

Samenvatting **7**

1 Inleiding **8**

1.1 Aanleiding en doel 8
1.2 Opzet rapport 8

2 Materiaal en methoden **9**

2.1 Beschrijving biologische leghennenhouderij 9
2.2 Beschrijving stallen en bedrijfssituaties 10
2.2.1 Bedrijf 1 10
2.2.2 Bedrijf 2 11
2.3 Meetstrategie 11
2.4 Meetmethodes 13
2.4.1 Ammoniak 13
2.4.2 Broeikasgassen 13
2.4.3 Fijnstof 14
2.4.4 Geur 15
2.4.5 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid 16
2.4.6 Ventilatiedebiet 16
2.4.7 Productiegegevens 16
2.5 Dataverwerking en analyse 17
2.5.1 Berekening ventilatiedebiet 17
2.5.2 Berekening emissies 17

3 Resultaten **19**

3.1 Meetomstandigheden 19
3.2 Ventilatiedebiet 22
3.3 Ammoniak 22
3.4 Broeikasgassen 23
3.5 Fijnstof 23
3.6 Geur 24

4 Discussie **25**

5 Conclusie **28**

Literatuur **29**

Bijlage 1 Beschrijving stal bedrijf 1 **30**

Bijlage 2 Beschrijving stal bedrijf 2 **33**

Bijlage 3 Landbouwkundige voorwaarden bedrijf 1 en 2 **36**

Bijlage 4 Kalibratie meetapparatuur **37**

Bijlage 5 Vergelijk continu- en referentiemetingen ammoniak **38**

Bijlage 6 Meetwaarden PM_{10} **39**

Woord vooraf

In dit rapport worden de resultaten beschreven van het onderzoek naar verschillende emissies uit volièrestallen in de biologische legpluimveehouderhij. In de milieuregelgeving heeft de biologische sector een aparte positie. Deze is onder andere vrijgesteld voor het nemen van emissie reducerende maatregelen voor ammoniak en fijnstof in het Besluit emissiearme huisvesting. Door de resultaten van onderzoek naar de effecten van de veehouderijbedrijven op de gezondheid van omwonenden, is de vraag naar boven gekomen wat de bijdrage is van de biologische pluimveehouderij aan de verschillende emissies. In dit rapport zijn de resultaten van de metingen aan stallen op twee biologische legpluimveebedrijven weergegeven. We willen de pluimveehouders en de opdrachtgevers (ministeries van LNV en IenW) bedanken voor de fijne en constructieve samenwerking bij de uitvoering van de metingen en het schrijven van dit rapport.

De auteurs

Samenvatting

Aanleiding en doel
Resultaten van diverse studies binnen het onderzoek Veehouderij en Gezondheid Omwonenden (VGO) gaven aanleiding voor een studie in hoeverre de emissies (vooral van fijnstof) van biologisch gehouden pluimvee, afwijken van die van regulier gehouden dieren. In het rapport van Ellen et al. (2018) is gekeken in hoeverre daar een antwoord op kan worden gegeven op basis van beschikbare gegevens. Conclusie in dit rapport is dat er zeer waarschijnlijk verschillen zijn, maar dat op basis van beschikbare gegevens geen uitspraak kan worden gedaan over de absolute hoogte. Daarvoor zijn naast de reeds gerapporteerde metingen over biologisch gehouden legpluimvee door Dekker et al. (2011), extra metingen nodig.

Biologische legpluimveehouderij en bedrijfsbeschrijving
De biologische legpluimveehouderij is op een aantal punten verschillend van leghennen gehouden in reguliere huisvesting. Onder andere de volgende punten verschillen: stal, mest/strooisel, ventilatie, uitloop en voersamenstelling. De metingen zijn uitgevoerd op twee bedrijven met elk 12.000 bruine leghennen. Deze leghennen zijn verdeeld over vier compartimenten van 3.000 dieren. Bedrijf 1 ventileerde met onderdruk, bedrijf 2 met gelijkdruk. Op bedrijf 1 was een uitloop aanwezig aan beide kanten van de stal, op bedrijf 2 was de uitloop aan één kant gesitueerd. Beide stallen waren uitgevoerd met en strooiselschuif voor de regelmatige afvoer van strooiselmest. Op bedrijf 1 werd de mest in de stal niet belucht, op bedrijf 2 wel (met 0,2 m^3/dier per uur).

Meetstrategie en meetmethoden
De gedane metingen werden voor zover mogelijk uitgevoerd volgens de geldende meetprotocollen. Hierin zijn aanpassingen gedaan aan het meten op 2 locaties i.p.v.4 en het meten van het ventilatiedebiet. De metingen bestonden uit T, RV, CO_2, CH_4, N_2O, NH_3, geur en PM_{10}. Naast de referentiemetingen voor CO_2, CH_4, N_2O, NH_3, geur en PM_{10} zijn continumetingen uitgevoerd voor T, RV, CO_2 en NH_3. Hiervoor werd de lucht via een centrale leiding naar een meetbuis met sensoren gebracht. Om de emissies te kunnen berekenen is het ventilatiedebiet gemeten met behulp van meetwaaiers.

Resultaten en discussie
In dit onderzoek, uitgevoerd op twee biologische leghenbedrijven, zijn de jaarlijkse emissies bepaald voor ammoniak, methaan, fijnstof en geur:

- Ammoniakemissie: 0,174 (± 0,075) kg/dierplaats per jaar
- Methaanemissie: 17,6 (± 4,1) g/dierplaats per jaar
- Fijnstofemissie: 89 (± 55) g/dier per jaar (zonder correctie[1]: 107 ± 66)
- Geuremissie: 0,449 OU_E/dierplaats per seconde

De meetdagen waren goed verdeeld over het jaar, en zijn uitgevoerd op relatief warme en droge dagen. Het ventilatiedebiet op bedrijf 2 was lager dan op bedrijf 1, respectievelijk 3,4 en 2,7 m^3/dier per uur. De emissies kunnen beïnvloed zijn door bedrijfsspecifieke managementmaatregelen zoals het aantal keer mest afdraaien, mestbandbeluchting en de inzet van de strooiselschuif.

[1] Voor toelichting zie paragraaf 2.4.3

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Uit de verschillende studies binnen het onderzoek Veehouderij en Gezondheid Omwonenden (VGO) kwam de vraag naar voren in hoeverre de emissies (vooral van fijnstof) van biologisch gehouden pluimvee, afwijken van die van regulier gehouden dieren. Naar aanleiding hiervan heeft Wageningen Livestock Research een studie gedaan naar mogelijke oorzaken van verschillen in emissies tussen beide houderijsystemen. Daarnaast is ook gekeken naar de mogelijkheid om, op basis van beschikbare gegevens, emissiefactoren vast te stellen. Conclusie van deze studie (Ellen et al., 2018) is dat de beschikbare gegevens van Dekker et al. (2011) wijzen in de richting van hogere emissiewaarden, maar de data niet voldoende zijn voor het vaststellen van een emissiefactor voor een stal met biologisch gehouden legpluimvee. Daarnaast zijn er geen gerapporteerde metingen gevonden met betrekking tot fijnstof- en geuremissies voor stallen met biologisch gehouden legpluimvee. Emissiefactoren voor biologisch gehouden leghennen bleken ook niet afgeleid of gelijkgesteld te kunnen worden aan leghennen gehouden in reguliere huisvesting. Er zijn enkele wezenlijke verschillen tussen de gemeten stallen in de reguliere houderij en een referentiestal voor biologische houderij. De invloed van deze verschillen op de emissies is op basis van de huidige kennis niet kwantificeerbaar. De conclusie van de studie van Ellen et al. (2018) is dan ook dat aanvullende metingen nodig zijn.

Het uiteindelijke doel van dit project is aanvullende meetresultaten aan te leveren voor het vaststellen van emissiefactoren van ammoniak, geur en fijnstof voor biologisch gehouden leghennen. In dit rapport worden de resultaten beschreven van metingen aan twee biologische leghennenstallen gemeten volgens de geldende meetprotocollen. De metingen zijn alleen gericht op de emissies uit de stal met overdekte uitloop. Voor de emissies vanaf de vrije uitloop is een ander meetproject in voorbereiding. De resultaten van de metingen beschreven in dit rapport zouden samen met de resultaten van de metingen uitgevoerd door Dekker et al. (2011) gebruikt kunnen worden om een emissiefactor vast te stellen voor biologische leghennen in volièrehuisvesting.

1.2 Opzet rapport

Zoals gebruikelijk in een meetrapport wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op de toegepaste materialen en methoden. Hier worden eerst de karakteristieken van het houden van biologische leghennen beschreven, gevolgd door een beschrijving van de bemeten stallen. Tot slot worden de gebruikte meetmethoden en de meetstrategie beschreven en de verwerking van de meetgegevens. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de metingen gepresenteerd, waarna in hoofdstuk 4 een discussie volgt over de aspecten die mogelijk van invloed zijn geweest op de uiteindelijke emissiefactoren. De conclusie naar aanleiding van de discussie volgt daarna in hoofdstuk 5.

2 Materiaal en methoden

2.1 Beschrijving biologische leghennenhouderij

De biologische leghennenhouderij is op een aantal punten verschillend van leghennen gehouden in reguliere huisvesting. De karakteristieken zijn samen met de biologische pluimveesector opgesteld en weergegeven in Ellen et al. (2018). Een nieuw te bouwen stal, of een te verbouwen bestaande stal, zal veelal volgens deze beschrijving worden ingericht en gebruikt:

Stal
- Volièrehuisvesting (E 2.11.3)
- 6 dieren/m^2 leefoppervlak
- Overdekte uitloop die meetelt voor totaal aantal te houden dieren[2]
- 33% van het leefoppervlak is dicht (en voorzien van strooisel)
- Afdelingen (niet lucht gescheiden) van maximaal 3.000 dieren
- Daglicht (3% van vloeroppervlak), aanvulling met kunstlicht tot max. 16 uur/dag

Mest/strooisel
- Mestbeluchting boven de mestbanden (0,2 m^3/dier per uur)
- Afdraaien mestbanden; minimaal 1x per week
- Opslag mest in loods
- Bij afzet minimaal 60% ds (i.v.m. export)
- Koolzaadstro (rapsodie) als strooiselmateriaal, 0,5-1 kg/m^2 bij opzet
- Bijstrooien met materiaal volgens keuze pluimveehouder

Ventilatie
- Gelijkdruk om tocht in uitloopopeningen te voorkomen

(Overdekte) Uitloop
- Vanaf 10 uur tot 1 uur na zonsondergang toegankelijk in de praktijk
- Watervoorziening aanwezig
- Overdekte uitloop heeft een open luchtverbinding naar buiten over volledige hoogte van zijgevel (windbreekgaas)
- Tot 5 meter uit opening naar vrije uitloop zorgen voor droge looproute (bijv. houtsnippers, wortels wilgenhout, schelpen, gebroken puin)
- Begroeiing vrije uitloop volgens regels KAT (Kontrollierte Alternative Tierhaltungsformen; Duitse controle-instantie voor eieren uit alternatieve houderijsystemen).

Naast de stal(-uitvoering) kan ook de voersamenstelling een belangrijke rol spelen bij het ontstaan van emissies, vooral van ammoniak en geur. De voersamenstelling in de biologische pluimveehouderij is aan bepaalde voorschriften gebonden. Belangrijke zijn o.a. eisen aan de herkomst van de grondstoffen en het verbod op synthetische aminozuren. In Ellen en Ogink (2015) is aangegeven dat hierbij uiteindelijk gekeken moet worden naar de N-excretie als basis voor de ammoniakemissie.

[2] Het mogen meetellen van een (deel van de) overdekte uitloop als leefoppervlak is met ingang van 1 januari 2022 niet meer toegestaan voor nieuw te bouwen stallen. Voor bestaande stallen geldt een overgangstermijn tot 1 januari 2025.

2.2 Beschrijving stallen en bedrijfssituaties

Vanuit de Biologische Pluimveehouderij Vereniging (BPV) is contact gezocht met bedrijven die mee wilden werken aan het onderzoek en zo goed mogelijk voldeden aan de beschrijving in par. 2.1.
De metingen in dit rapport zijn uitgevoerd op twee bedrijven, voortgekomen uit deze inventarisatie, op elk bedrijf in één stal. Bedrijf 1 stond in Gelderland, bedrijf 2 in de provincie Zeeland. Met het oog op de privacywetgeving, worden namen en adressen van betreffende veehouders niet in het rapport genoemd. Een beschrijving van de relevante eigenschappen van beide bedrijven/stallen volgt onderstaand. De stallen komen niet op alle punten overeen met de beschrijving in par. 2.1. Daar waar van toepassing wordt in hoofdstuk 4 (Discussie) ingegaan op de mogelijke effecten hiervan op de emissies.

2.2.1 Bedrijf 1

De metingen op bedrijf 1 zijn uitgevoerd in een stal met 12.000 biologische leghennen van het ras Novogen Brown Light. De hennen kwamen in de stal op 29 oktober 2019 op 17 weken leeftijd. Deze leghennen zijn verdeeld over vier compartimenten van 3.000 dieren. De compartimenten zijn niet volledig luchtdicht van elkaar gescheiden. In de stal zijn vier rijen volièrestellingen aanwezig. In deze uitvoering van het systeem is geen mestbandbeluchting aanwezig. Voor de regelmatige afvoer van strooiselmest is een strooiselschuif onder de stellingen aangebracht. Aan beide zijden van de stal is een overdekte uitloop aanwezig. Via de overdekte uitloop hebben de leghennen toegang tot de vrije uitloop. De hennen krijgen vanaf 7 uur ’s ochtends toegang tot de overdekte uitloop en rond 10 uur toegang tot de vrije uitloop.
Deze stal wordt geventileerd d.m.v. onderdruk. Voor de ventilatie zijn vier dakventilatoren aanwezig die stallucht afvoeren, lucht komt binnen via inlaatkleppen in de wanden tussen de stal en de overdekte uitloop, of via de uitloopopeningen.
In bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de belangrijkste kenmerken van de stal en enkele managementaspecten, een stalplattegrond en een overzichtsfoto van het bedrijf in de omgeving. In de verdere omgeving zijn andere agrarische bedrijven aanwezig, waaronder pluimveebedrijven.
Hieronder is de bedrijfssituatie weergegeven met daarin de stal waaraan de metingen worden uitgevoerd blauw omcirkeld (figuur 1). De vrije uitloop is aanwezig aan beide kanten van de stal en ten zuiden van de stal. Ernaast staat een foto van binnen de stal met de volièrestellingen zichtbaar (figuur 2).

Figuur 1 *Overzichtsfoto van de bemeten stal in de omgeving.*

Figuur 2 *Foto binnenkant stal met volièrestellingen.*

2.2.2 Bedrijf 2

De metingen op bedrijf 2 zijn uitgevoerd in een stal met 12.000 biologische leghennen van het ras Lohmann Bruin Classic Alternatieve. De hennen kwamen in de stal op 14 mei 2019 op 16 weken leeftijd. Deze leghennen zijn verdeeld over vier compartimenten van 3.000 dieren. De compartimenten zijn niet volledig luchtdicht van elkaar gescheiden. In de stal zijn twee rijen volièrestellingen met mestbandbeluchting aanwezig. Onder de stellingen is een strooiselschuif aangebracht voor de regelmatige afvoer van strooiselmest. Aan één zijde van de stal is een overdekte uitloop aanwezig. Via deze overdekte uitloop hebben de leghennen toegang tot de vrije uitloop. De hennen krijgen vanaf 7 uur 's ochtends toegang tot de overdekte uitloop en rond 10 uur toegang tot de vrije uitloop.
Deze stal wordt geventileerd d.m.v. gelijkdruk. Voor de ventilatie zijn acht dakventilatoren aanwezig die verse lucht aanvoeren en acht ventilatoren die stallucht afvoeren. Vier van de acht ventilatoren draaien continu, bij een toenemende ventilatiebehoefte springen de andere 4 ventilatoren bij. Dit zowel bij de aan- als afvoerventilatoren.
In bijlage 2 is een overzicht opgenomen van de belangrijkste kenmerken van de stal en enkele managementaspecten, een stalplattegrond en een overzichtsfoto van het bedrijf in de omgeving. In de verdere omgeving zijn geen veehouderij bedrijven aanwezig. Hieronder is de bedrijfssituatie weergegeven met daarin de stal waaraan de metingen worden uitgevoerd blauw omcirkeld (figuur 3). De uitloop is in noordoostelijke richting. Ten zuidwesten van de bemeten stal staat een tweede stal waar ook biologische leghennen worden gehouden. Ernaast staat een foto van binnen de stal met de ventilatoren en volièrestellingen zichtbaar (figuur 4).

Figuur 3 *Overzichtsfoto van de bemeten stal in de omgeving.*

Figuur 4 *Foto binnenkant stal met in- en uitblaasventilatoren en volièrestellingen.*

2.3 Meetstrategie

Huisvestingssystemen worden getest volgens het meetprotocol voor ammoniak zoals die is opgesteld in Nederland (Ogink et al., 2017) en in het internationale VERA collectief (VERA, 2018). Deze protocollen schrijven o.a. het volgende voor:

- De metingen worden uitgevoerd op vier verschillende bedrijfslocaties die zijn uitgerust met het te onderzoeken systeem.
- Een referentiemeting heeft een minimum duur van 24 uur of een veelvoud daarvan. Bij verzamelmonsters (1 monster in 24 uur) moet de meting in duplo worden uitgevoerd.
- De bemeten stallen dienen te voldoen aan landbouwkundige randvoorwaarden, zie bijlage 3. Hierin staat opgenomen welke bedrijfsparameters tijdens het uitvoeren van de metingen dienen te worden geregistreerd en gerapporteerd, om naderhand te kunnen verifiëren of de metingen hebben plaatsgevonden onder representatieve omstandigheden.
- Op elk van de bedrijfslocaties moet zes maal verdeeld over een jaar een meting worden uitgevoerd. De bemonsteringsperiodes van de bedrijfslocaties hoeven niet samen te vallen met het kalenderjaar, en de aanvang mag verschillen per locatie.

- De metingen dienen bij dieren met een gelijkmatig emissiepatroon plaats te vinden in opeenvolgende tijdvakken van twee maanden, waarbij binnen een tijdvak een meting op een steekproefsgewijs (at random) gekozen dag dient te worden uitgevoerd.
- Wanneer er sprake is van repeterende management activiteiten die de emissie kunnen beïnvloeden (bijv. mestverwijdering) dient het meetschema hier op zodanige wijze te worden afgestemd dat de gemiddelde emissie uit de waarnemingen kan worden berekend.

Omdat de resultaten uit deze meetserie als aanvullende gegevens worden gebruikt, zijn er in plaats van de vier verschillende bedrijfslocaties slechts twee bedrijfslocaties bemeten.

Op deze bedrijfslocaties zijn zowel continu- als referentiemetingen uitgevoerd:

Continumetingen
De continumetingen zijn uitgevoerd door gebruik te maken van verschillende sensoren voor ammoniak (NH_3), koolstofdioxide (CO_2), alsook de temperatuur (T) en relatieve vochtigheid (RV). Voor het meten van NH_3 en CO_2 wordt continu lucht aangezogen uit de stal door een verzamelleiding met op vier plekken een opening met een kritisch capillair. Deze aanzuigpunten zitten vlakbij de ventilatiekokers die de lucht afvoeren uit de stal, voor de stal met acht ventilatiekokers zijn de aanzuigpunten geplaatst tussen twee dicht bij elkaar geplaatste ventilatoren. De pomp en kritische capillairen hebben beide voldoende capaciteit om de benodigde lucht voor zowel de continu- als referentiemetingen te kunnen leveren. De verzamelleiding eindigt in een meetbuis waarop sensoren voor het meten van de concentraties van NH_3 en CO_2 zijn aangesloten, zie figuur 5. Door gebruik te maken van een meetbuis komt op één punt een representatieve luchtstroom van de verschillende uitgaande luchtstromen in de stal. T en RV in de stal wordt continu gemeten met een sensor in het midden van de stal naast de verzamelleiding. Buiten de stal zijn aan weerszijden van de stal sensoren geplaatst die continu CO_2, T en RV meten. Alle sensoren zijn aangesloten op een datalogger (Campbell Scientific CR1000X), deze verzamelt de meetgegevens elke 5 minuten en stuurt deze dagelijks door naar een PC. De meetpunten en verzamelleiding zijn aangegeven in de stalplattegronden in bijlage 1 en 2. Een omschrijving van de kalibraties van de sensoren voor de continumetingen is te vinden in bijlage 4.

Referentiemetingen
Referentiemetingen van CO_2, CH_4, N_2O, NH_3 en geur in de stal zijn uitgevoerd door slangen aan te sluiten op de meetbuis. Fijnstof (PM_{10}) is in de stal gemeten op vier punten in de stal vlakbij de ventilatiekokers die de lucht afvoeren uit de stal. Achtergrondconcentraties van CO_2, CH_4, N_2O, NH_3 en PM_{10} zijn gemeten aan weerszijden van de stal. Alle referentiemetingen zijn in duplo uitgevoerd, behalve de PM_{10} metingen.
CH_4, N_2O, NH_3, geur en PM_{10} zijn gemeten volgens de meetprotocollen beschreven door respectievelijk Groenestein et al. (2011), Mosquera et al. (2011), Ogink et al. (2017), Ogink (2011) en Ogink et al. (2011). Deze rapportages bevatten toelichting op en onderbouwing van de wijze waarop de meetprotocollen zijn ontworpen, evenals de beschrijving van het protocol.

Figuur 5 *Foto datalogger (Campbell Scientific CR1000X, links) en meetbuis met hierop een sensor voor NH_3 (Draeger Polytron 8000, midden) en CO_2 (Vaisala GMP252, rechts).*

2.4 Meetmethodes

2.4.1 Ammoniak

Voor het meten van de ammoniakconcentratie in de uitgaande luchtstromen en de achtergrondconcentratie werd gebruik gemaakt van de zogenaamde 'nat-chemische-methode': bij deze meetmethode wordt de lucht uit de meetbuis met een constante luchtstroom aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair die een luchtstroom geeft van ~1,0 l/min (figuur 6). Alle lucht werd door twee impingers (geplaatst in een wasfles met 100 ml salpeterzuur) geleid, waarbij de NH_3 werd opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag werd een derde fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen werd de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid. De metingen werden per meetplek in duplo uitgevoerd. De molariteit van de zure oplossing in de wasflessen is afhankelijk van het verwachte aanbod van NH_3 dat moet worden gebonden. Na de bemonsteringtijd (24 uur) werd de concentratie gebonden NH_3 spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom door de wasflessen bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA), zie figuur 6. Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH_4^+ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kon de NH_3-concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald. Zowel de achtergrondconcentratie als uitgaande stallucht werd in duplo bemonsterd. Verschillen tussen deze methode en de methode beschreven in NEN 2826 worden genoemd in Mosquera et al. (2019). Hier blijkt dat deze methode geen significant verschil geeft in gemeten ammoniakconcentraties met de methode beschreven in NEN 2826.

Figuur 6 *Meetopstelling nat-chemische methode voor ammoniakemissiemetingen. Links: impingers. Midden: Flowmeter. Rechts: pomp.*

Naast de hiervoor genoemde metingen volgens de natchemische methode werd de NH_3-concentratie gemeten met behulp van een elektrochemische Draeger sensor (Polytron 8000). Dit om het verloop van de concentratie (en samen met het ventilatiedebiet, de emissie) continu te kunnen volgen. Deze sensor was aangesloten op de meetbuis aan het eind van de verzamelleiding, zie figuur 5.

2.4.2 Broeikasgassen

De CO_2-concentratie werd gemeten in lucht bemonsterd met de zogenaamde 'longmethode'. In deze methode (Ogink en Mol, 2002) wordt eerst een lege 40 liter Nalophan monsterzak in een gesloten vat geplaatst. Het inwendige van de zak is via een teflon slang verbonden aan de meetbuis. Door met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritisch capillair (continu 0,02 L/min gedurende 24 uur) lucht uit het vat (d.w.z. de ruimte tussen vatwand en zak) te zuigen ontstaat in het vat onderdruk en wordt de te bemonsteren lucht aangezogen vanaf het monsternamepunt. De 24-uursgemiddelde concentratie van CO_2 in het luchtmonster werd gemeten met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A; detector: HWD).

Figuur 7 *Meetopstelling voor het nemen van een luchtmonster middels de longmethode, voor bepaling van concentraties van broeikasgassen.*

Daarnaast is de CO_2-concentratie continu gemeten met een Vaisala CO_2-sensor (Vaisala; Vantaa, Finland; CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP252). Type met meetbereik 0-5000 ppm voor de meetpunten binnen en meetbereik 0-2000 ppm voor de buitenluchtconcentratie. De sensor voor de meting in de stal is aangesloten op de meetbuis aan het eind van de verzamelleiding, zie figuur 5. De achtergrond CO_2-concentratie is aan beide kanten buiten de stal gemeten, zie bijlage 1 en 2 voor de exacte locaties.

2.4.3 Fijnstof

De concentratie van PM_{10} in de stallucht werd gemeten volgens de gravimetrische meetmethode. PM_{10} werd verzameld op een filter nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM_{10}-cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS). Het PM_{10} werd verzameld op glasvezelfilters met een diameter van 47 mm (type MN GF-3, Macherey-Nagel GmbH & Co., Düren, Duitsland). De filters werden voor en na de stofmonstername gewogen onder standaard condities: een temperatuur van 20 ± 1°C en 50 ± 5% relatieve luchtvochtigheid. Deze voorwaarden staan beschreven in EN 12341:2014 (CEN, 2014). Het verschil in gewicht voor (onbeladen filter) en na (beladen filter) de monstername bepaalt de hoeveelheid verzameld PM_{10}. Lucht werd door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamepompen van het type Charlie HV (roterend, max. 6 m^3/uur, Ravebo Supply BV, Brielle). Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternamekop (inlaat). Het debiet van deze pompen blijft ook constant bij toename van de drukval over het filter. Hierdoor wordt een stabiele luchtstroom verkregen binnen 2% van de nominale waarde. De pompen werden geprogrammeerd op een flow rate van 16,667 L/min (1,0 m^3/uur) en op een start- en eindtijd van de monsternameperiode. De werkelijke hoeveelheid lucht die bij de monsternamepunten wordt aangezogen wordt met een gasmeter gemeten (gecorrigeerd naar de temperatuur bij de monsternamepunten). De massaconcentratie werd nu verkregen door de gewogen hoeveelheid ingevangen PM_{10} (mg) te delen door de gemeten flow (m^3).

Op de verkregen massaconcentratie werd een correctie toegepast op basis van het onderzoek van Zhao et al. (2009) met de volgende formules:

- $PM_{10} < 222{,}6$ µg/m^3: $Y = 1{,}0877 * X$
- $PM_{10} > 222{,}6$ µg/m^3: $Y = 0{,}8304 * X + 57{,}492$

(X = gemeten concentratie)

In dit rapport wordt de concentratie en emissie van PM_{10} met bovenstaande correctie weergegeven. Deze waarde is te vergelijken met eerder beschreven concentraties en emissies van PM_{10}. In Winkel et al. (2015) wordt echter aangegeven dat deze correctiefactor niet nodig is. Daarom wordt tussen haakjes de waarde zonder toegepaste correctie weergegeven.

Figuur 8 *Monsterapparatuur voor het meten van PM_{10} d.m.v. gravimetrische filtratie. Links: detailfoto van de 'constant flow' pomp. Rechts: cycloonmeetkop voor gravimetrische meting van PM_{10}.*

2.4.4 Geur

De geurmetingen zijn in duplo uitgevoerd volgens de longmethode (voor geur en broeikasgassen). Bij de toepassing van de zogenaamde longmethode (Ogink en Mol, 2002) wordt een 40 L Nalophan monsterzak in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) via een teflon slang te zuigen, ontstaat in het vat onderdruk en wordt de te bemonsteren lucht aangezogen in de zak.

Bij de bepaling van de geurconcentratie wordt gedurende twee uur (tussen 10:00 en 12:00 uur) stallucht aangezogen, via de meetbuis, zo dicht mogelijk bij het afzuigpunt van de ventilatie (zie ook 2.3) met een flow van ca. 0,4 L/min. Voordat de lucht in een geurvrije zak wordt verzameld, is deze door een stoffilter geleid (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2 µm, Savillex® Corp., Minnetonka, VS). De geuranalyses zijn binnen 30 uur na monstername uitgevoerd volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Het geurlaboratorium is onder nummer 2016LO-080 geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses conform NEN-EN 13725.

Figuur 9 *Meetopstelling voor het nemen van een luchtmonster middels de longmethode, voor bepaling van concentraties van geur.*

2.4.5 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Temperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%) werd continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS), met een nauwkeurigheid van respectievelijk ± 0,1 °C en ± 0,8%. In het midden van de stal ter hoogte van de ventilatiekokers is een sensor opgehangen en aan beide zijkanten van de stal is een sensor opgehangen om de buitentemperatuur en luchtvochtigheid te meten.

2.4.6 Ventilatiedebiet

Voor het meten van het ventilatiedebiet zijn meetwaaiers geïnstalleerd in de bestaande ventilatorkokers. Deze zijn verbonden met de datalogger die de pulsen van de meetwaaier opslaat. Voor het berekenen van het debiet is gebruik gemaakt van een door de leverancier opgestelde ijklijn waarin de relatie tussen de geregistreerde pulsen en het debiet was vastgesteld. Op bedrijf 1 zijn Stienen 820 meetwaaiers geïnstalleerd, op bedrijf 2 Hotraco 630 meetwaaiers. De meetwaaiers zijn geïnstalleerd in elke ventilator die stallucht afvoert.

2.4.7 Productiegegevens

Op iedere tweede dag van de 24-uursmetingen is de volgende informatie overgenomen van de hokkaart (eventueel via een foto):

- aantal aanwezige dieren;
- indien mogelijk: gemiddeld hengewicht (eventueel afgelezen waarde voor het betreffende productiestadium uit de productiegids van het merk hen);
- eiproductie: legpercentage/aantal eieren en gemiddeld eigewicht;
- voeropname van de dieren;
- waterverbruik van de dieren;
- voersamenstelling (met name eiwit- en energiegehalte);
- uitval;
- evt. toediening van medicatie of additieven.

Tevens is de pluimveehouder gevraagd naar eventuele veranderingen of verschillen die hij/zij waar heeft genomen, bijv. verschil in klimaat of gedrag van de kippen.

2.5 Dataverwerking en analyse

2.5.1 Berekening ventilatiedebiet

Het ventilatiedebiet is berekend met behulp van de pulsen die gegenereerd worden door het rondraaien van de meetwaaier, deze pulsen zijn opgeslagen in de datalogger. Een bepaald aantal omwentelingen geeft een bepaald debiet weer, dit is weergegeven in de meetwaaiertabellen van de fabrikant.

2.5.2 Berekening emissies

Ammoniak
Per meting werden de emissies (E; kg/jaar per geplaatst dier) van ammoniak bepaald op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode (24-uursgemiddelde; V [m^3/uur per dier aanwezig]) en de gemiddelde concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_uit [kg/m^3]) en in de ingaande (achtergrond-)lucht (C_in [kg/m^3]). De emissies op jaarbasis werden uitgedrukt per geplaatst dier en gecorrigeerd voor een leegstandsperiode voor leghennen van 5% (Ogink et al., 2017):

$$E = V\ x\ (C_{uit} - C_{in})\ x\ \frac{D_i}{D_n}\ x\ 24\ x\ 365\ x\ 0{,}95$$

waarbij:

- E = emissie ammoniak in kg per dierplaats per jaar
- V = ventilatiedebiet per aanwezig dier in m^3/dier per uur
- C_uit = concentratie in uitgaande luchtstroom in kg/m^3
- C_in = concentratie in ingaande luchtstroom in kg/m^3
- D_i = aantal aanwezige dieren
- D_n = aantal geplaatste dieren
- 24 = uren per dag
- 365 = aantal dagen per jaar
- 0,95 = leegstandsfactor

Fijnstof
Per meting werden de emissies (E; g/jaar per dier) van fijnstof bepaald op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode (24-uursgemiddelde; V [m^3/uur per dier aanwezig]) en de gemiddelde concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_uit [g/m^3]) en in de ingaande (achtergrond-)lucht (C_in [g/m^3]). De emissies op jaarbasis werden uitgedrukt per aanwezig dier en gecorrigeerd voor een leegstandsperiode voor leghennen van 5% (Ogink et al., 2011):

$$E = V\ x\ (C_{uit} - C_{in})\ x\ 24\ x\ 365\ x\ 0{,}95$$

waarbij:

- E = emissie fijnstof in g per dier per jaar
- V = ventilatiedebiet per aanwezig dier in m^3/dier per uur
- C_uit = concentratie in uitgaande luchtstroom in g/m^3
- C_in = concentratie in ingaande luchtstroom in g/m^3
- 24 = uren per dag
- 365 = aantal dagen per jaar
- 0,95 = leegstandsfactor

Geur
Per meting werden de emissies (E; OU_E/s per dierplaats) van geur bepaald op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode (2-uursgemiddelde; V [m^3/uur per dier aanwezig]) en de gemiddelde concentratie (2-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_uit [OU_E/m^3]). De emissies werden uitgedrukt per dierplaats per seconde en niet gecorrigeerd voor een leegstandsperiode voor leghennen van 5% (Ogink, 2011):

$$E = V\ x\ C_{uit}\ x\ \frac{D_i}{D_n}$$

waarbij:

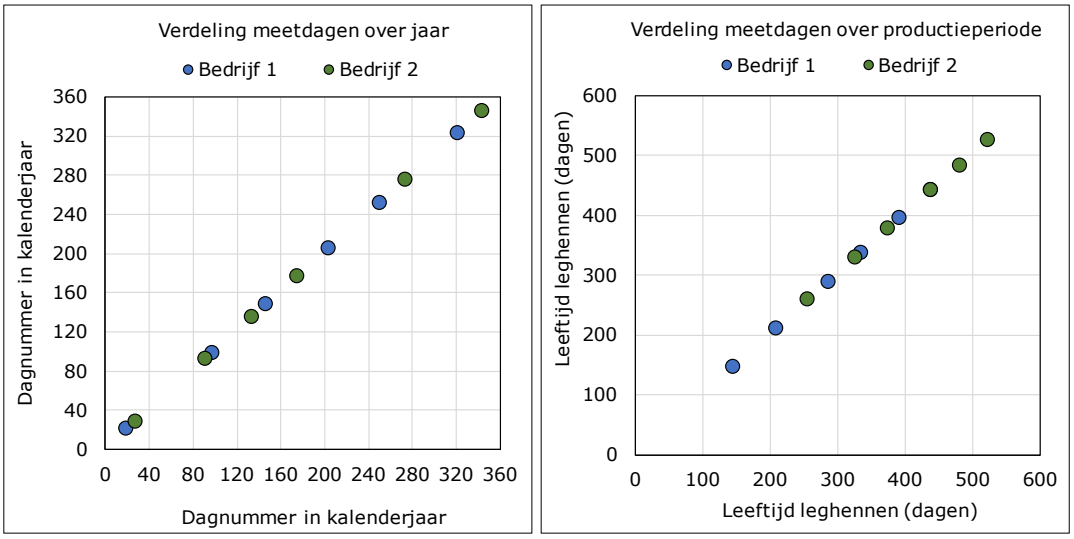
- E = emissie geur in OU_E/s per dierplaats
- V = ventilatiedebiet per aanwezig dier in m^3/dier per seconde
- C_uit = concentratie in uitgaande luchtstroom in OU_E/m^3
- D_i = aantal aanwezige dieren
- D_n = aantal geplaatste dieren

De emissie van geur is per meting uitgerekend in OU_E/s per dierplaats en uitgedrukt als natuurlijke logaritme, zonder achtergrondconcentratie in mindering te brengen. De mediane emissie is vervolgens bepaald door het gemiddelde op log-schaal terug te transformeren naar normale schaal.

3 Resultaten

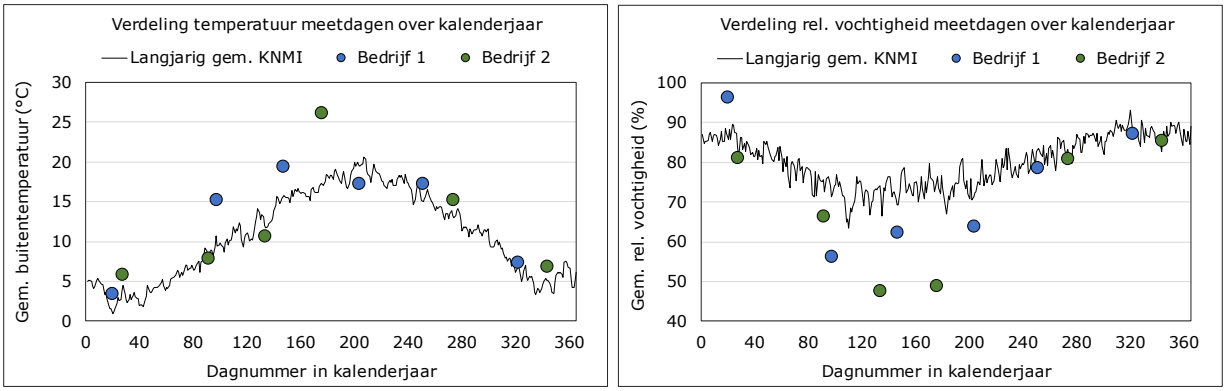
3.1 Meetomstandigheden

Het Nederlandse meetprotocol voor ammoniak (Ogink et al., 2017) schrijft voor dat er per bedrijfslocatie minimaal zesmaal gemeten moet worden. De metingen moeten gelijkmatig verdeeld over een jaar zijn verricht en minimaal 80% van de metingen moet betrouwbare resultaten opleveren. In figuur 10 zijn de meetdagen verdeeld over het jaar (links) en productieperiode (rechts) weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de meetdagen goed verdeeld waren over het jaar (links) en daarmee de seizoenen. Er zijn in totaal 12 metingen uitgevoerd waarvan zes op bedrijf 1 en zes op bedrijf 2. De metingen zijn uitgevoerd in de periode oktober 2019 tot en met september 2020. Het gemiddelde dagnummer van de metingen is 174 voor bedrijf 1 en 175 voor bedrijf 2. Dit ligt dichtbij het nagestreefde dagnummer van 183. Op beide bedrijven is één meting uitgevoerd waarbij de dieren geen toegang hadden tot de vrije uitloop vanwege de dreiging van Aviaire Influenza (AI).
De metingen op bedrijf 1 zijn uitgevoerd bij een gemiddelde leeftijd van de leghennen van 245 dagen, op bedrijf 2 was dit 292 dagen. Op bedrijf 1 is de eerste meting uitgevoerd in leeftijdsweek 19 en de laatste meting in leeftijdsweek 61. Op bedrijf 2 is de eerste meting uitgevoerd in leeftijdsweek 37 en de laatste meting in leeftijdsweek 75. De metingen op bedrijf 1 zijn op relatief jongere leeftijd van de leghennen uitgevoerd dan op bedrijf 2. Hierdoor zijn er over een gehele productieperiode metingen uitgevoerd, met relatief meer metingen in het midden van de productieperiode.



Figuur 10 *Verdeling van de metingen over het jaar (links) en de productieperiode (rechts).*

In figuur 11 is de verdeling van de metingen over het jaar in vergelijking met de buitentemperatuur (links) en relatieve luchtvochtigheid (rechts) volgens de gemiddelde waarden gemeten over 2010 t/m 2019 van het KNMI-station De Bilt weergegeven. De gemiddelde buitentemperatuur tijdens de metingen van bedrijf 1 was 13,2 °C en op bedrijf 2 12,0 °C. Dit ligt boven het langjarig gemiddelde van 10,7 °C. De relatieve luchtvochtigheid buiten de stal was gemiddeld 73,9% voor bedrijf 1 en 68,2% voor bedrijf 2. Dit is lager dan het langjarige gemiddelde van 80,0%. De metingen zijn dus uitgevoerd op relatief warme dagen met een lage luchtvochtigheid. Met name de metingen in de zomer van 2020 hebben hier aan bijgedragen.



Figuur 11 *Verdeling van de metingen over het jaar in vergelijking met de buitentemperatuur (links) en relatieve luchtvochtigheid (rechts) volgens de gemiddelde waarden gemeten over 2010 t/m 2019 van het KNMI-station De Bilt (weergegeven als lijn).*

De gemiddelde temperatuur (± standaarddeviatie) in de stal bedroeg 22,7 (± 1,4) °C voor de meetdagen op bedrijf 1 en 22,1 (± 3,2) °C op bedrijf 2. De laagste en hoogste temperatuur zijn gemeten op bedrijf 2, namelijk 19,1 °C en 27,8 °C. De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in de stal bedroeg 56,2 (± 5,6)% voor de meetdagen op bedrijf 1 en 58,6 (± 8,0)% op bedrijf 2. De laagste en hoogste RV zijn gemeten op bedrijf 2, namelijk 49 en 66%.

In tabel 1 zijn o.a. de data waarop de metingen zijn uitgevoerd met de relevante technische resultaten en klimaatomstandigheden (buiten en binnen in de stal) weergegeven. De technische resultaten van de dieren (wateropname, voeropname, water/voer-verhouding, productie, en uitval) vielen allemaal binnen de normen van het ras die gesteld zijn door de fokkerijgroepering en de landbouwkundige voorwaarden.

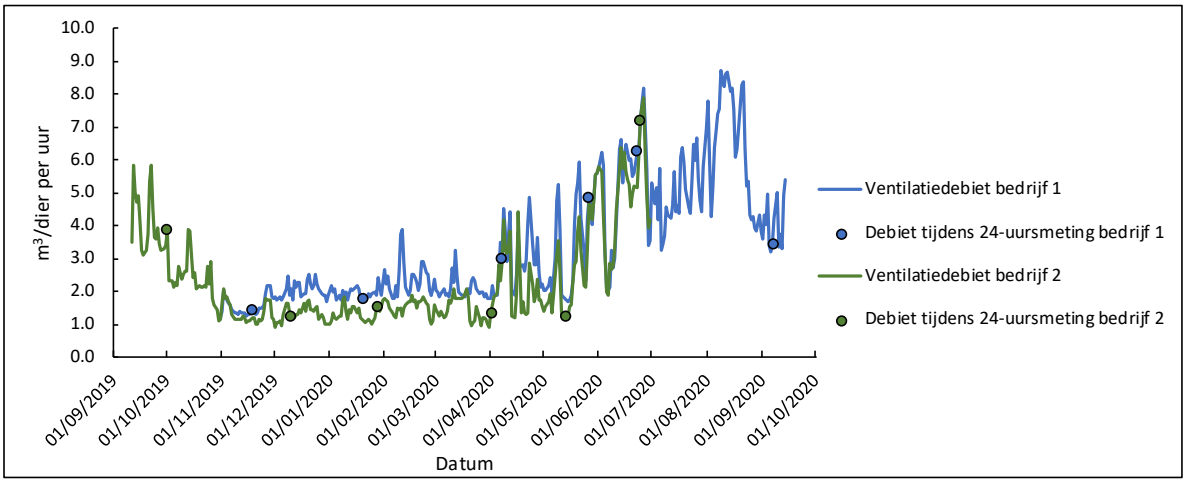
Tabel 1 *Data waarop de metingen zijn uitgevoerd met dagnummer in het jaar en dagnummer in productiecyclus, relevante technische resultaten, de klimaatomstandigheden en de concentraties en emissies van de verschillende gemeten componenten.*

Variabele [eenheid]	Bedrijf 1						Bedrijf 2					
	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5	Meting 6	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5	Meting 6
Algemeen												
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	18/11/2019	20/01/2020	07/04/2020	26/05/2020	22/07/2020	07/09/2020	01/10/2019	10/12/2019	28/01/2020	01/04/2020	13/05/2020	24/06/2020
Datum einde meting [dd-mm-yyyy]	19/11/2019	21/01/2020	08/04/2020	27/05/2020	23/07/2020	08/09/2020	02/10/2019	11/12/2019	29/01/2020	02/04/2020	14/05/2020	25/06/2020
Dagnummer in jaar [#]	322	20	98	147	204	251	274	344	28	92	134	176
Productiekengetallen												
Opzetdatum dieren [dd-mm-yyyy]	23/10/2019	23/10/2019	23/10/2019	23/10/2019	23/10/2019	23/10/2019	14/05/2019	14/05/2019	14/05/2019	14/05/2019	14/05/2019	14/05/2019
Dagnummer in productieronde	26	89	167	216	273	320	140	210	259	323	365	407
Ras	Novogen Brown Light	Novogen Brown Light	Novogen Brown Light	Novogen Brown Light	Novogen Brown Light	Novogen Brown Light	Lohmann Bruin Classic Alternatieve	Lohmann Bruin Classic Alternatieve	Lohmann Bruin Classic Alternatieve	Lohmann Bruin Classic Alternatieve	Lohmann Bruin Classic Alternatieve	Lohmann Bruin Classic Alternatieve
Aantal hennen geplaatst	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
Aantal hennen aanwezig	12000	11991	11931	11884	11791	11717	11924	11854	11802	11675	11580	11475
Eiproductie p.a.h. (%)	21,9	95,0	95,3	93,5	83,3	89,8	89,5	91,7	90,6	83,7	80,4	71,2
Eigewicht (g)*	48,6	60,9	62,8	62,7	63,2	62,9	62,9	65,1	65,7	66,6	67,2	67,8
Uitval hennen cumulatief [%]	0,0	0,1	0,6	1,0	1,7	2,4	0,6	1,2	1,7	2,7	3,5	4,4
Diergewicht hennen [g]*	1610	1770	1795	1810	1825	1835	1834	1910	1938	1880	1896	1875
Voeropname hennen [g/dier per dag]	88	124	121	120	123	125	121	122	121	111	113	102
Wateropname hennen [ml/dier per dag	140	206	223	225	201	212	195	179	177	202	213	214
Toegang tot uitloop	ja	ja	nee	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nee	ja	ja
Buitenluchtcondities												
Gem. temperatuur [°C]	7,3	3,4	15,2	19,3	17,2	17,2	15,2	6,8	5,7	7,7	10,5	26,1
Gem. relatieve luchtvochtigheid [%]	87	96	56	62	64	78	81	85	81	66	47	49
Windrichting (KNMI)	NNW, W	WZW, ZZW	O, NO	NNW, N	NNO, WZW	ZW, ZW	WZW, NNW	ZZW, ZW	W, W	NNW, WZW	N, NNO	ONO, O
Achtergrond NH_3 [ppm]	0,12	0,36	0,37	0,38	0,18	0,27	1,22	0,48	1,05	0,94	0,16	0,30
Achtergrond PM_{10} [mg/m3]	0,01	0,13	0,01	0,33	0,23	0,06	0,19	0,05	0,20	0,76	0,24	0,20
Achtergrond CO_2 [ppm]	469	518	547	505	499	469	523	469	426	463	471	438
Achtergrond CH_4 [ppm]	2,06	2,71	2,46	2,29	2,44	2,17	2,29	2,06	1,98	2,24	2,00	2,14
Achtergrond N_2O [ppm]	0,40	0,22	0,50	0,40	0,49	0,41	0,49	0,52	0,38	0,42	0,36	0,50
Stallucht en ventilatie												
Gem. luchttemperatuur [°C]	22,6	20,0	23,1	24,1	23,4	23,1	23,4	20,8	19,1	19,4	22,1	27,8
Gem. relatieve luchtvochtigheid [%]	61	61	50	52	51	62	66	66	64	58	49	49
Gem. CO_2-concentratie [ppm]	2187	2162	1640	1165	1100	1121	1630	2106	1956	1827	1830	785
Ventilatiedebiet [m^3/h per dier]	1,45	1,84	3,09	5,44	4,51	3,97	3,27	1,29	1,51	1,54	1,21	7,41
Ammoniakconcentraties en -emissies												
Gem. concentratie NH_3 [ppm]	28,0	29,2	10,4	5,0	6,8	10,2	11,4	23,1	27,9	7,8	5,1	4,1
Gem. emissie NH_3 [kg/dpl per jaar]	0,234	0,307	0,179	0,143	0,170	0,223	0,191	0,167	0,231	0,059	0,033	0,156
Fijnstofconcentraties en -emissies												
Gem. concentratie PM_{10} [mg/m^3]	n.b.	1,3	7,2	4,7	3,5	2,2	3,1	5,5	3,8	7,7	10,0	4,0
Gem. emissie $PM1_{10}$ [g/dier per jaar]	n.b.	17	182	194	123	70	78	58	45	90	96	223
Gem. concentratie PM_{10} [mg/m^3] (met correctie)	n.b.	1,1	6,0	3,9	3,0	1,9	2,6	4,7	3,2	6,5	8,4	3,4
Gem. emissie $PM1_{10}$ [g/dier per jaar] (met correctie)	n.b.	15	153	161	103	60	66	49	37	75	80	186
Geurconcentraties en -emissies												
Gem. concentratie geur [OU_E/m^3]	934	247	315	569	426	501	777	1991	803	742	1259	445
Gem. emissie geur [OU_E/dier per seconde]	0,40	0,15	0,22	1,02	0,60	0,51	0,51	0,72	0,29	0,34	0,41	1,16
Methaanconcentraties en -emissies												
Gem. concentratie CH_4 [ppm]	4,8	4,7	3,7	3,1	3,1	2,8	3,4	4,1	3,7	4,1	3,6	2,7
Gem. emissie CH_4 [g/dpl per jaar]	21,4	20,3	21,0	22,7	15,8	13,7	20,0	14,2	13,4	14,8	9,6	19,5
Lachgasconcentraties en -emissies												
Gem. concentratie N_2O[ppm]	0,414	0,228	0,494	0,421	0,517	0,428	0,487	0,519	0,408	0,427	0,373	0,505
Gem. emissie N_2O[g/dpl per jaar]	0,142	0,120	-0,122	0,603	0,539	0,398	-0,270	-0,006	0,523	0,062	0,195	0,249

* bij ontbreken van cijfers is gebruik gemaakt van de norm van dit ras (diergewicht bedrijf 1, eigewicht bedrijf 2)

3.2 Ventilatiedebiet

In figuur 12 wordt per bedrijf het ventilatiedebiet weergegeven in m^3/dier per uur gedurende de gehele meetperiode. De lijnen zijn gebaseerd op de metingen via de meetwaaiers. De punten geven het gemiddelde ventilatiedebiet weer tijdens de 24-uursmetingen, dit is gebaseerd op dezelfde data.

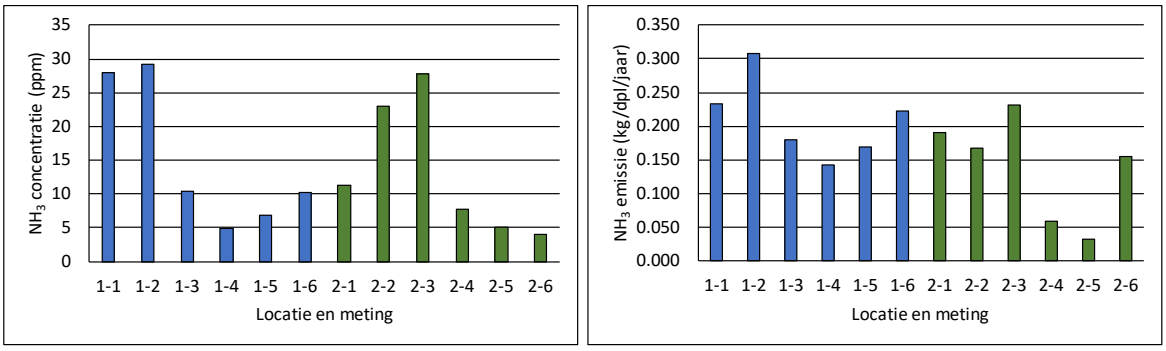


Figuur 12 *Ventilatiedebiet gedurende de meetperiode. De lijnen geven het debiet weer gedurende de productieronde op basis van meetwaaiers, de punten het gemiddelde debiet tijdens 24-uursmetingen.*

In de figuur is te zien dat vanaf november tot april het ventilatiedebiet lager is, zoals verwacht mag worden tijdens de winterperiode. Het verloop van de ventilatie op beide bedrijven is goed vergelijkbaar. Het gemiddelde ventilatiedebiet van de 24-uursmetingen (± standaarddeviatie) was 3,4 (± 1,6) m^3/dier per uur voor bedrijf 1 en 2,7 (± 2,4) m^3/dier per uur voor bedrijf 2. Het lagere ventilatiedebiet op bedrijf 2 kan komen door de ligging van het bedrijf en de lagere gemeten buitentemperaturen tijdens de 24-uursmetingen.

3.3 Ammoniak

In figuur 13 worden per bedrijf en meting de concentratie van ammoniak in de stal en de emissie van ammoniak uit de stal weergegeven. De continumetingen zijn weergegeven in bijlage 5.



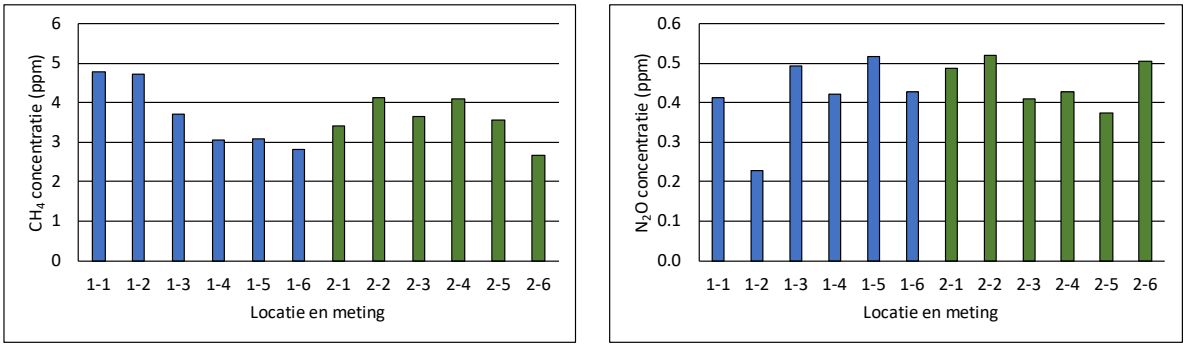
Figuur 13 *Links de concentratie ammoniak en rechts de emissie van ammoniak per bedrijf over de verschillende metingen.*

De gemiddelde ammoniakconcentratie in de stal (± standaarddeviatie) bedroeg 14,1 (± 9,9) ppm. De concentratie van ammoniak in de stal is over het algemeen lager op warmere dagen, mede door het hogere ventilatiedebiet op deze dagen. De gemiddelde ammoniakconcentratie lag op bedrijf 1 1,7 ppm hoger dan op bedrijf 2.

De gemiddelde emissie van ammoniak vanuit de stal over alle metingen (± standaarddeviatie) bedroeg 0,174 (± 0,075) kg/dierplaats per jaar. De emissie op bedrijf 1 is redelijk stabiel over de metingen met 0,210 (± 0,059) kg/dierplaats per jaar, op bedrijf 2 zijn tijdens meting 4 en 5 relatief lage emissies van ammoniak gevonden, waardoor het gemiddelde op 0,139 (± 0,077) kg/dierplaats per jaar komt voor bedrijf 2.

In bijlage 5 is het verloop van de ammoniakconcentratie gedurende de productierondes weergegeven, gemeten met de ammoniaksensor. Ook is er een vergelijk uitgevoerd tussen de 12 referentiemetingen en de waardes tijdens dezelfde meetperiode van de ammoniaksensor. Hieruit kwam geen significant verschil.

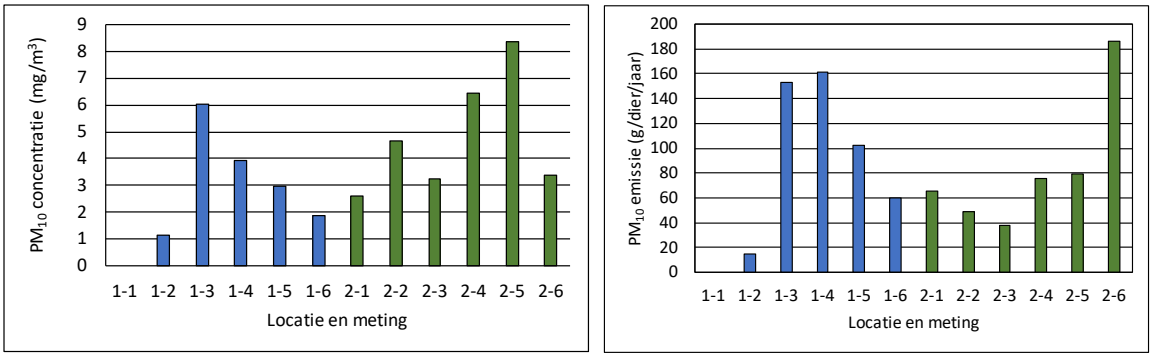
3.4 Broeikasgassen



Figuur 14 *Links de concentratie methaan en rechts de concentratie van lachgas per bedrijf over de verschillende metingen.*

De gemiddelde methaanconcentratie in de stal (± standaarddeviatie) over alle metingen bedroeg 3,6 (± 0,7) ppm. De methaanemissie is gemiddeld 17,2 (± 4,1) g/dierplaats per jaar. Uit de metingen blijkt dat de concentratie van lachgas in de stal nagenoeg gelijk, soms zelfs lager, zijn dan in de buitenlucht. Hierdoor ontstaan negatieve emissiewaarden (zie tabel 1). Daarom is het niet mogelijk om een emissiefactor voor lachgas te bepalen.

3.5 Fijnstof

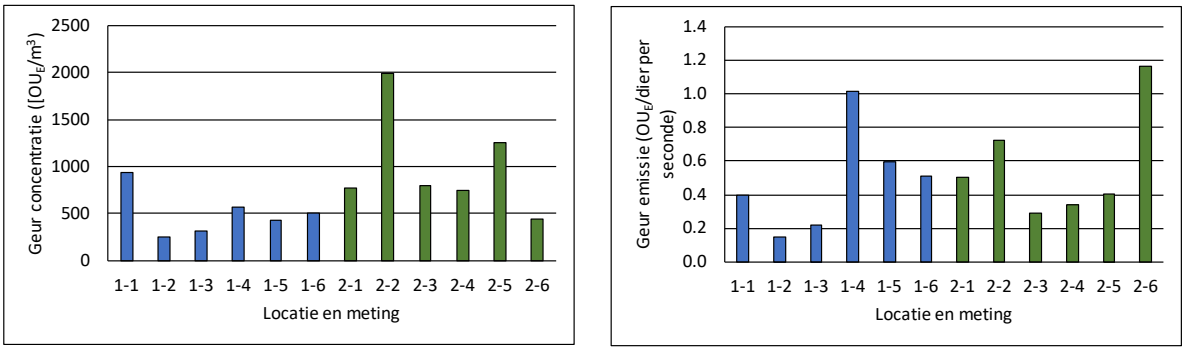


Figuur 15 *Links de concentratie PM_{10} en rechts de emissie van PM_{10} per bedrijf over de verschillende metingen.*

De gemiddelde fijnstofconcentratie in de stal (± standaarddeviatie) over alle metingen bedroeg 4,1 (± 2,2) mg/m^3 (zonder correctie: 4,8 ± 2,6 mg/m^3). De concentratie van fijnstof in de stal is over het algemeen lager op warmere dagen, mede door het hogere ventilatiedebiet op deze dagen. De gemiddelde fijnstofconcentratie lag op bedrijf 2 1,9 mg/m^3 hoger dan op bedrijf 2.
De emissie van fijnstof vanuit de stal (± standaarddeviatie) over alle metingen bedroeg 89 (± 55) g/dier per jaar (zonder correctie: 107 (± 66) g/dier per jaar). De emissie op bedrijf 2 is redelijk stabiel over de metingen, op bedrijf 1 geeft meting 2 een relatief lage emissie van fijnstof. De individuele

meetresultaten zijn te vinden in bijlage 6. Hierin is te zien dat bij vrijwel elke meting één waarde buiten het 95%-betrouwbaarheidsinterval valt, deze waardes vallen echter wel binnen de verwachte range van fijnstofconcentraties.

3.6 Geur



Figuur 16 *Links de concentratie geur en rechts de emissie van geur per bedrijf over de verschillende metingen.*

De gemiddelde geurconcentratie in de stal (± standaarddeviatie) over alle metingen bedroeg 750 (± 484) OU_E/m^3. De concentratie van geur in de stal is over het algemeen lager op warmere dagen, mede door het hogere ventilatiedebiet op deze dagen. De gemiddelde geurconcentratie lag 504 OU_E/m^3 hoger op bedrijf 2 dan op bedrijf 1. Dit verschil wordt grotendeels veroorzaakt door meting 2 op bedrijf 2.
De emissie van geur vanuit de stal over alle metingen bedroeg gemiddeld 0,449 OU_E/dierplaats per seconde. De emissie op bedrijf 2 is 0,108 OU_E/dier per seconde hoger dan op bedrijf 1. Het verschil in geuremissie tussen beide bedrijven is kleiner dan het verschil in geurconcentratie. Oorzaak hiervan is het lagere gemiddelde ventilatiedebiet op bedrijf 2 en de logaritmische berekeningswijze van de geuremissie (zie paragraaf 2.5.2).

4 Discussie

Aanleiding voor dit project was het aanleveren van aanvullende meetresultaten voor het vaststellen van emissiefactoren van ammoniak, geur en fijnstof voor biologisch gehouden leghennen. Volgens Ellen et al. (2018) zijn er meerdere factoren die een verschil in emissies zouden kunnen verklaren tussen regulier gehouden hennen zonder uitloop en biologisch gehouden hennen. Zo heeft biologisch voer een andere samenstelling en kan de lagere bezetting en de vrije uitloop van de leghennen een effect hebben op de emissies. De resultaten in dit project zouden samen met de resultaten van de metingen uitgevoerd door Dekker et al. (2011) kunnen leiden tot een emissiefactor voor biologische leghennen in volièrehuisvesting.

De meetomstandigheden waren over het algemeen goed, de metingen zijn goed verdeeld over het jaar en de productieperiode. Er zijn relatief meer metingen in het midden van de productieronde uitgevoerd, hier wordt echter geen effect van verwacht op de verschillende emissies (Winkel et al., 2009). De metingen zijn uitgevoerd op relatief warme dagen met een lage luchtvochtigheid, dit zou hebben kunnen leiden tot een lagere emissie van ammoniak door het sneller drogen van mest. Ook zou dit de emissie van fijnstof verhoogd kunnen hebben doordat er meer droog materiaal aanwezig is en de ventilatie hoger is op relatief warmere dagen.

Het ventilatiedebiet kan veel invloed hebben op de emissie, in deze meetserie zijn de debieten vergelijkbaar met de debieten gemeten bij andere pluimveebedrijven (Dekker et al., 2011; Ellen et al., 2020; Goselink et al., 2020), met de uitzondering dat in deze meetserie wel meerdere hogere ventilatiedebieten gezien zijn van boven de 4 m^3/dier per uur. Op bedrijf 2 was het gemiddelde ventilatiedebiet lager dan op bedrijf 1, dit kan komen doordat er toevallig op dagen is gemeten waar de ventilatiebehoefte lager was. Ook zijn er geen metingen uitgevoerd in de maanden juli, augustus en september, waardoor dagen met hoge ventilatiedebieten gemist kunnen zijn. Dagen met een hoog ventilatiedebiet geven binnen dit onderzoek overwegend lagere emissies. Doordat er op bedrijf 2 weinig metingen zijn uitgevoerd in de zomer kan dit dus tot een overschatting van de emissies hebben geleid.

De ammoniakemissie was gemiddeld 0,174 kg/dierplaats per jaar. Op bedrijf 1 was de gemiddelde emissie 0,210 kg/dierplaats en daarmee 0,071 kg/dierplaats per jaar hoger dan op bedrijf 2. Een logische verklaring voor dit verschil is de mestbandbeluchting; op bedrijf 1 werd de mest op de mestband niet belucht, terwijl op bedrijf 2 de mest werd belucht met 0,2 m^3/dier per uur. Daarnaast kan het verschil verklaard worden door het hogere ventilatiedebiet, de hogere luchtvochtigheid van de buitenlucht, het ventilatiesysteem, een iets hogere bezetting/m^2 en jongere hennen op bedrijf 1. De ammoniakemissie vanaf de mestbanden bouwt op naarmate de mest langer op de banden ligt en daalt sterk na het afdraaien (Winkel et al., 2014). Dit effect is ook gezien bij de metingen van Dekker et al. (2011). Bedrijf 1 draait de mest twee keer per week af (meestal dinsdag en zaterdag). Bedrijf 2 draait de mest drie keer per week af (maandag, woensdag en vrijdag). Hier is in dit onderzoek geen duidelijk effect van gezien in de ammoniakemissies gemeten met de referentiemetingen en continumetingen.

De ammoniakemissie in dit rapport is hoger dan gemeten door Dekker et al. (2011) bij biologische leghennen; hier werd een gemiddelde emissie van 0,118 kg/dierplaats per jaar gevonden. Dit gemiddelde werd lichtelijk verlaagd doordat één van de drie meetlocaties een alternatieve huisvesting had met een lagere ammoniakemissie. Ook hadden al deze stallen mestbandbeluchting. De gemeten ammoniakemissie is hoger dan de emissiefactoren voor volièrehuisvesting voor leghennen die zijn opgenomen in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav)[3].

[3] Uit eerder onderzoek naar de emissies uit stallen in de pluimveehouderij komt naar voren dat de emissiefactoren voor volièrehuisvesting mogelijk te laag zijn (Ellen et al., 2017).

De achtergrondconcentraties van ammoniak op bedrijf 2 zijn niet exact gemeten op de plek van de luchtinlaat. Om te kwantificeren wat hiervan het effect kan zijn geweest is van elke meting de ammoniakemissie opnieuw uitgerekend met de hoogste en de laagste achtergrondconcentratie. Dit zou maximaal een verhoging of verlaging van 0,007 kg/dierplaats per jaar geven.

De methaanemissie tijdens deze meetserie kwam uit op 17,6 g/dierplaats per jaar uit. Dit is vergelijkbaar met de metingen van Dekker et al. (2011) en Mosquera et al. (2016). Hier werden gemiddelde emissies van 14 tot 19 g/dierplaats per jaar gevonden. In Winkel et al. (2009) wordt een hogere methaanemissie gevonden van 26,2 g/dierplaats per jaar, deze hogere waarde wordt grotendeels verklaard door enkele hoge methaanemissies aan het begin van de productieronde. Tijdens de meetserie in dit rapport is minder gemeten aan het begin van de ronde en is dit effect niet gezien. De concentraties lachgas gemeten in de stal lagen dichtbij de concentraties lachgas in de achtergrond, daarom is voor lachgas geen emissie berekend. In de studies van Winkel et al. (2009), Dekker et al. (2011) en Mosquera et al. (2016) is wel een emissie berekend voor lachgas, respectievelijk 0,45; 10,8 en 0,39 g/dierplaats per jaar. Deze waardes zijn hoger dan gemeten tijdens de meetserie beschreven in dit rapport. De hoogste lachgasemissie en methaanemissie zijn beide gevonden in Winkel et al. (2009).

De fijnstofemissie gemeten in dit rapport bedroeg 89 g/dier per jaar. Dit is hoger dan de 67,3 g/dierplaats gevonden in Winkel et al. (2009) bij reguliere leghennen in volièrehuisvesting. De hogere emissie bij de metingen in onderhavig onderzoek zou verklaard kunnen worden door de lagere bezettingsgraad bij biologische leghennen, waardoor het strooisel droger is en de kippen meer ruimte hebben om te stofbaden. De eerste meting op bedrijf 1 is mislukt vanwege uitvallende meetapparatuur, daarom zijn van deze meting geen resultaten vermeld. Er blijven echter genoeg goede metingen over om een emissie te berekenen. Opvallend is de lage emissie tijdens meting 2 op bedrijf 1, hier kan geen verklaring voor gevonden worden. De fijnstofemissie op bedrijf 2 kan zijn onderschat doordat de achtergrondconcentratie van fijnstof werd gemeten naast de stal, terwijl de lucht de stal in kwam via ventilatoren in de nok van de stal. Hier word minder fijnstof verwacht vanwege het hogere aanzuigpunt en dit punt is verder weg van de andere stal op het bedrijf. De fijnstofconcentratie in de stal is niet in duplo gemeten zoals in het meetprotocol wordt voorgeschreven. Doordat in de stal op vier verschillende punten werd gemeten op beide bedrijven zijn er toch meerdere metingen gedaan aan ongeveer dezelfde lucht en omstandigheden. Deze waarnemingen lieten kleine variaties zijn tussen de verschillende meetpunten. Hierdoor worden de metingen voldoende betrouwbaar geacht.

De emissie van geur bedroeg 0,449 OU_E/dierplaats per seconde, redelijk vergelijkbaar met de 0,51 OU_E/dierplaats per seconde gemeten in reguliere volièrestallen door Beurskens et al. (2002). In Winkel et al. (2009) wordt echter een waarde van 0,20 OU_E/dierplaats per seconde gevonden. De factoren die een invloed hebben op de emissie van geur zijn nog grotendeels onbekend. Ook is er veel variatie tussen geurmetingen, hierdoor kan de emissie minder gunstig zijn uitgevallen. De duplo's van de geurconcentraties van meting 3 op bedrijf 2 lagen ver uit elkaar, respectievelijk 496 en 1109 OU_E/m^3. Als er wordt uitgegaan dat de lage waarde juist is, zou de gemiddelde geuremissie van de twee bedrijven 0,431 OU_E/dierplaats per seconde zijn. Als er wordt uitgegaan dat de hoge waarde juist is, zou de gemiddelde geuremissie van de twee bedrijven 0,461 OU_E/dierplaats per seconde zijn. Voor geur is geen achtergrond gemeten, verwacht werd dat achtergrondconcentraties met meer dan 50 OU_E/m^3 niet voorkwamen. Bij bedrijf 1 staan geen stallen dicht in de buurt en bedrijf 2 heeft een gelijkdruk ventilatiesysteem waarbij lucht via de nok de stal in komt, waardoor hier veelal frisse lucht binnenkomt.

Beide bedrijven maakten gebruik van een strooiselschuif om buitennesteieren te voorkomen en de strooisellaag dun te houden. De strooiselschuif is in de Rav opgenomen met een reductie van 20% voor zowel NH_3 als PM_{10}. De emissies van NH_3 en PM_{10} beschreven in dit rapport zouden, als de strooiselschuif werkt volgens de beschrijving, 20% onderschat worden. In theorie zou de gemiddelde ammoniakemissie 0,218 kg/dierplaats per jaar en de gemiddelde fijnstofemissie 111 g/dier per jaar zijn, als deze strooiselschuif niet aanwezig zou zijn. Op bedrijf 1 is geen mestbandbeluchting aanwezig, op bedrijf 2 wel. Een mestbandbeluchting van 0,2 m^3/dier per uur zou een reductie kunnen

geven van 39% op de ammoniakemissie. De ammoniakemissie op bedrijf 1 zou in theorie daarmee 0,128 kg/dierplaats per jaar zijn.

Tijdens de meetperiode is sprake geweest van een ophokplicht door dreiging van Aviaire Influenza (AI). Dit kan een verhogend effect hebben gehad op de emissies uit de stal, terwijl de emissies vanaf de vrije uitloop in deze periode lager zullen zijn geweest. De kippen zijn slechts tijdens twee van de twaalf metingen binnen gehouden en het aandeel van de emissies in de vrije uitloop wordt op lager dan 10% van de emissiefactor van de stal geschat (Aarnink et al., 2005), daarom is de verwachting dat de ophokplicht geen grote invloed heeft gehad op de uitkomsten in deze meetserie. Daarnaast heeft AI de afgelopen jaren vaak tot een ophokplicht geleid, waardoor deze metingen de praktijksituatie goed weergeven.

Volgens Bestman en Wagenaar (2014) komt bij 40% van de biologische bedrijven predatie voor door vossen of roofvogels. Slechts een klein deel van deze dieren wordt teruggevonden en meegeteld bij de uitval. Hierdoor kan er een overschatting ontstaan van het aantal dieren en daarmee een onderschatting van de emissies uitgedrukt in kg/dierplaats per jaar. Desalniettemin is het aantal dieren dat hierbij omkomt klein in vergelijking met de het totale aantal leghennen in de stal.

Voor het bepalen van het ventilatiedebiet is gebruik gemaakt van meetwaaiers. Voor een nauwkeuriger debiet zouden deze gekalibreerd moeten worden na installatie in de stal. Desalniettemin laat figuur 12 een duidelijk verloop zien van het ventilatiedebiet, waarbij de twee bedrijven met verschillende meetwaaiers een gelijkwaardig patroon laten zien. Ook is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij de emissies berekend zijn met een 5% hoger of lager ventilatiedebiet dan gemeten. Een afwijking van 5% kan een redelijk groot effect hebben op de emissies.

Tabel 2 *Effect van een over- of onderschatting van het ventilatiedebiet van 5%*

Variabele [eenheid]	Volgens berekend ventilatiedebiet	Ventilatiedebiet + 5%	Ventilatiedebiet - 5%
Gem. emissie NH_3 [kg/dpl per jaar]	0,174	0,183	0,166
Gem. emissie CH_4 [g/dpl per jaar]	17,2	18,1	16,3
Gem. emissie $PM1_{10}$ [g/dier per jaar]	89	94	85
Gem. emissie geur [OU_E/dier per seconde]	0,449	0,471	0,427

5 Conclusie

In dit onderzoek uitgevoerd op twee biologische leghenbedrijven zijn de jaarlijkse emissies bepaald voor ammoniak, methaan, fijnstof en geur. Uit de metingen komen de volgende gemiddelde emissiewaarden (tussen haakjes de standaarddeviatie):

- Ammoniakemissie: 0,174 (± 0,075) kg/dierplaats per jaar
- Methaanemissie: 17,6 (± 4,1) g/dierplaats per jaar
- Fijnstofemissie: 89 (± 55) g/dier per jaar (zonder correctie[4]: 107 ± 66)
- Geuremissie: 0,449 OU_E/dierplaats per seconde.

[4] Zie opmerking over de correctie van de meetwaarden in paragraaf 2.4.3.

Literatuur

Aarnink, A. J. A., Hol, J. M. G., Beurskens, A. G. C., & Wagemans, M. J. M. (2005). *Ammoniakemissie en mineralenbelasting op de uitloop van leghennen* (No. 337). Agrotechnology & Food Sciences Group.

Bestman, M., & Wagenaar, J. P. (2014). Health and welfare in Dutch organic laying hens. *Animals*, *4*(2), 374-390.

Beurskens, A. G. C., Hol, J. M. G., & Mol, G. (2002). *Onderzoek naar de ammoniak-en geuremissie van stallen LV: volièrestal voor leghennen = Aviary housing system for laying hens* (No. 2002-16). IMAG.

Dekker, S. E. M., Aarnink, A. J. A., De Boer, I. J. M., & Groot Koerkamp, P. W. G. (2011). Emissions of ammonia, nitrous oxide, and methane from aviaries with organic laying hen husbandry. *biosystems engineering*, *110*(2), 123-133.

Ellen, H. H., Aarnink, A. J. A., & Ogink, N. W. M. (2018). *Mogelijkheid vaststellen emissies biologische pluimveehouderij: deskstudie naar de mogelijkheden om de emissiefactoren vast te stellen van biologisch gehouden pluimvee op basis van beschikbare informatie* (No. 1119). Wageningen Livestock Research.

Ellen, H. H., & Ogink, N. W. M. (2015). *Effecten reducerende technieken op emissies bij biologisch gehouden pluimvee: deskstudie* (No. 811). Wageningen UR Livestock Research.

Groenestein, C. M., Mosquera, J., & Ogink, N. W. M. (2011). *Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010*. Wageningen UR Livestock Research.

Mosquera, J., Groenestein, C. M., & Ogink, N. W. M. (2011). *Protocol voor meting van lachgasemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 = Measurement protocol for nitrous oxide emission from housing systems in livestock production 2010* (No. 494). Wageningen UR Livestock Research.

Mosquera, J., Van Emous, R., Van Hattum, T., Nijeboer, G., Hol, J. M. G., Van Dooren, H. J., & Ogink, N. W. M. (2016). *Effect van strooiselverwijdering bij leghennen in volièrehuisvesting op de emissie van ammoniak, geur, broeikasgassen en fijnstof* (No. 995). Wageningen Livestock Research.

Mosquera, J., Ploegaert, J. P. M., & Kupers, G. C. C. (2019). *Determination of ammonia concentrations in air from livestock housing systems: Reference method using gas washing as applied by Wageningen Livestock Research* (No. 1187). Wageningen Livestock Research.

Mosquera, J., Ogink, N., Adamsen, A. P. S., Bjerg, B. S., Kai, P., Gallmann, E., ... & Hassouna, M. (2018). VERA TEST PROTOCOL: for Livestock Housing and Management Systems.

Ogink, N., Mosquera, J., & Hol, A. (2017). *Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a = Measurement protocol for ammonia emission from housing systems in livestock production 2013a* (No. 1032). Wageningen UR Livestock Research.

Ogink, N.W.M., &. Mol., G. (2002). *Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij.* IMAG nota P 2002-57, 31 pp.

Ogink, N. W. M., Hofschreuder, P., & Aarnink, A. J. A. (2011). *Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010*. Wageningen UR Livestock Research.

Ogink, N. W. M. (2011). *Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 = Protocol for the measurement of odour emissions from housings in animal production* (No. 491). Wageningen UR Livestock Research.

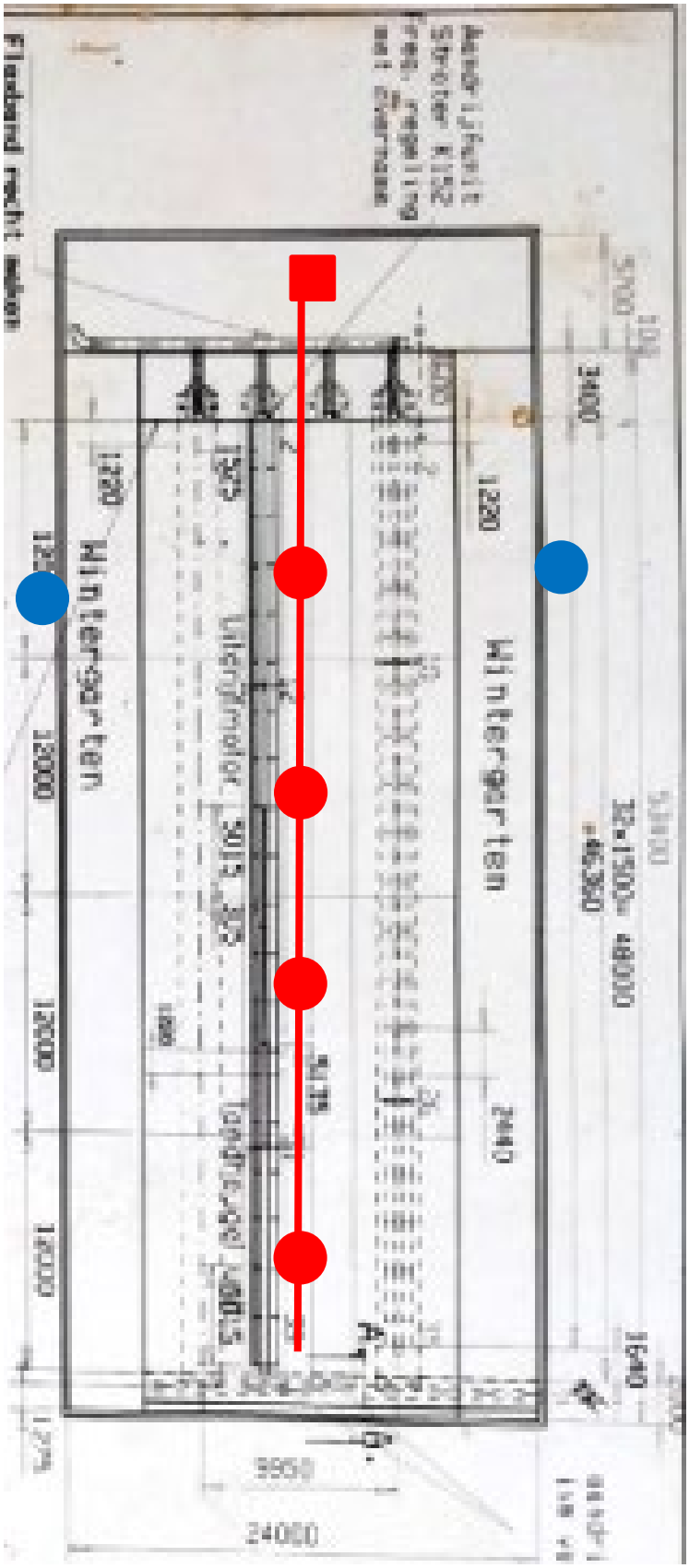
Winkel, A., Mosquera, J., Ellen, H. H., Hol, J. M. G., Nijeboer, G. M., Ogink, N. W. M., & Aarnink, A. J. A. (2009). Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in stallen met een droogtunnel.

Winkel, A., Llorens Rubio, J., Vonk, J., & Ogink, N. W. M. (2015). Equivalence testing of filter-based, beta-attenuation, TEOM, and light-scattering devices for measurement of PM10 concentration in animal houses. *Journal of Aerosol Science*, *80*, 11-26.

Zhao, Y., Aarnink, A. J. A., Hofschreuder, P., & Groot Koerkamp, P. W. G. (2009). Evaluation of an impaction and a cyclone preseparator for sampling high PM10 and PM2.5 concentrations in livestock houses. *Aerosol Science, 40,* 868–878.

Bijlage 1 Beschrijving stal bedrijf 1

Kenmerk	Beschrijving
Stal	
Bouwjaar	2006
Rav code en omschrijving	E 2.11.1: minimaal 50% van de leefruimte is rooster met daaronder een mestband. Mestbanden minimaal eenmaal per week afdraaien. Roosters in minimaal twee etages (BWL 2004.09.V1). Biologische leghennen met uitloop.
Emissiefactoren	Emissie PM_{10}: 65 g/dierplaats per jaar Emissie ammoniak: 0,090 kg/dierplaats per jaar Emissie geur: 0,34 OU_E/dierplaats per seconde
Afmetingen ($l \times b \times h_{goot}/h_{nok}$)	60 x 24 x 2,5 x 8 m
Oriëntatie van de stal	N (voorgevel) – Z (achtergevel)
Dieren	
Aantal hennen bij opzet	12.000
Bezettingsgraad bij opzet	Ca. 9 kippen per m^2 strooiselvloeroppervlak (6 dieren per m^2 leefoppervlak)
Merk hen	Novogen Brown Light
Klimaatregeling	
Beschrijving luchtinlaat	Via inlaatventielen in de zijgevels
Beschrijving luchtuitlaat	Stal met 4 compartimenten (niet luchtdicht gescheiden). Ieder compartiment heeft 1 nokventilator met Ø 80 cm, elk max. ca. 13.000 m^3/uur Totaal: ca. 52.000 m^3/uur (ca. 5 m^3/uur per hen)
Ventilatieregeling	Op basis van staltemperatuur
Streeftemperatuur	Ca. 19–20 °C
Verwarmingssysteem	Geen
Bedrijfsvoering	
Beschrijving houderijsysteem	Volièrehuisvesting in 4 systeemrijen (systeemlengte: ca. 48 m) en 5 strooiselgangen. Overdekte uitloop aan beide zijden van de stal, telt wel mee als leefoppervlak.
Beschrijving voersysteem	Voerkettingen door het volièresysteem: buitenste rijen vier voerlijnen, middelste drie voerlijnen
Voertijden	Vijf- tot zesmaal per dag, verspreid over de lichtperiode
Voer	Legmeel 1, 2 en 3
Beschrijving drinkwatersysteem	Waterlijnen met drinknippels en lekschoteltjes: twee lijnen per systeemrij
Drinktijden	Tijdens lichttijden
Strooiselmanagement	De stal wordt ingestrooid met een kleine hoeveelheid stro. Verder wordt strooisel regelmatig verwijderd met de strooiselschuif
Beschrijving verlichting	Lichtstraten boven de strooiselgangen met full spectrum LED-lampen
Lichtregime	16L:8D, licht aan 06.00 uur en tot 22.00 uur
Schoonmaakregime	Na ruimen van de kippen wordt de strooiselmest verwijderd en de stal nat gereinigd
Productiecyclus	
Leeftijd bij opzet	Ca. 17 weken
Leeftijd bij ruimen	Ca. 80 weken
Leegstand tussen koppels	Ca. 2 weken



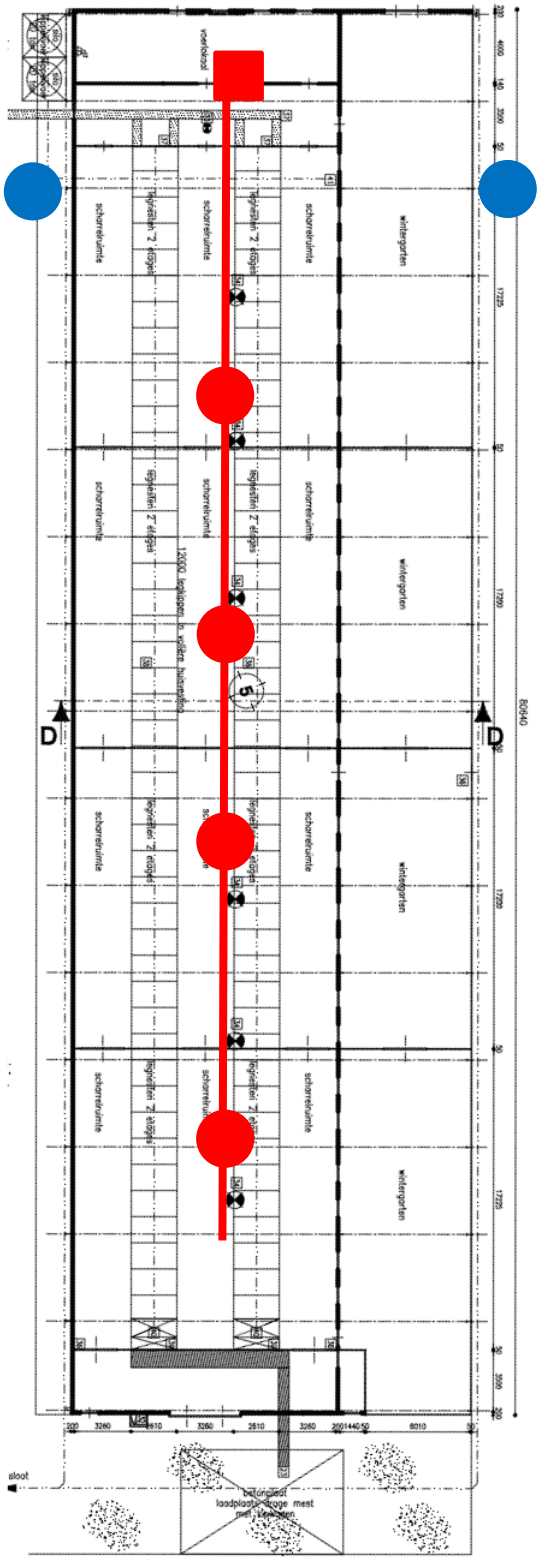
Plattegrond van de bemeten stal op bedrijf 1. Blauwe cirkels geven de plaatsen aan van de achtergrondmeting voor temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, CO_2, CH_4, N_2O, NH_3 en PM_{10}. De rode lijn geeft de lucht verzamelleiding uit de stal weer, met de rode cirkels als aanzuigpunten met kritisch capillair. Hier zijn ook meetpunten ingericht voor het meten van PM_{10}. Het rode vierkant geeft de plaats weer waar de meetbuis is geplaatst met daarop aangesloten de apparatuur voor de continumetingen van CO_2 en NH_3. Ook worden hier monsters genomen voor de referentiemetingen van CO_2, CH_4, N_2O, NH_3 en geur.

Foto bedrijf 1 *De pluimveestal met daaromheen de uitloop. Ten oosten van de pluimveestal is een mestloods aanwezig, ten westen een kapschuur met werktuigen.*

Luchtfoto bedrijf met omgeving. De pluimveestal waar is gemeten is blauw omcirkeld.

Bijlage 2 Beschrijving stal bedrijf 2

Kenmerk	Beschrijving
Stal	
Bouwjaar	2009
Rav code en omschrijving	E 2.11.2.1: beluchtingscapaciteit minimaal 0,2 m^3 per dier per uur (BWL 2004.10.V3). Biologische leghennen met uitloop.
Emissiefactoren	Emissie PM_{10}: 65 g/dierplaats per jaar Emissie ammoniak: 0,055 kg/dierplaats per jaar Emissie geur: 0,34 OU_E/dierplaats per seconde
Afmetingen ($l \times b \times h_{goot}/h_{nok}$)	80 x 23 x 2,5 x 6,2 m
Oriëntatie van de stal	NW (voorgevel) – ZO (achtergevel)
Dieren	
Aantal hennen bij opzet	12.000
Bezettingsgraad bij opzet	Ca. 9 kippen per m^2 strooiselvloeroppervlak (6 dieren per m^2 leefoppervlak)
Merk hen	Lohmann Bruin Classic Alternatieve
Klimaatregeling	
Beschrijving luchtinlaat	8 nokventilatoren (gelijkdruk)
Beschrijving luchtuitlaat	Stal met 4 compartimenten (niet luchtdicht gescheiden). Ieder compartiment heeft 2 nokventilatoren met Ø 65 cm, elk max. ca. 15.000 m^3/uur Totaal: ca. 120.000 m^3/uur (ca. 10 m^3/uur per hen)
Ventilatieregeling	Op basis van staltemperatuur
Streeftemperatuur	Ca. 19–20 °C
Verwarmingssysteem	Geen
Bedrijfsvoering	
Beschrijving houderijsysteem	Volièrehuisvesting in 2 systeemrijen (systeemlengte: ca. 70 m) en 3 strooiselgangen. Overdekte uitloop aan noordzijde van de stal, telt wel mee als leefoppervlak
Beschrijving voersysteem	Voerkettingen door het volièresysteem: twee circuits per systeemrij
Voertijden	Vijfmaal per dag, verspreid over de lichtperiode
Voer	Legmeel 1, 2 en 3
Beschrijving drinkwatersysteem	Waterlijnen met drinknippels en lekschoteltjes: drie lijnen per systeemrij
Drinktijden	Tijdens lichttijden
Strooiselmanagement	De stal wordt ingestrooid met een kleine hoeveelheid vlaslemen. Verder wordt strooisel regelmatig verwijderd met de strooiselschuif
Beschrijving verlichting	Lichtstraten in buitenmuren en lichtinlaten in dak, daarnaast verlichting door TL-lampen
Lichtregime	16L:8D, licht aan 06.00 uur en tot 22.00 uur
Schoonmaakregime	Na ruimen van de kippen wordt de strooiselmest verwijderd en de stal nat gereinigd
Productiecyclus	
Leeftijd bij opzet	Ca. 17 weken
Leeftijd bij ruimen	Ca. 80 weken
Leegstand tussen koppels	Ca. 3 weken



Plattegrond van de bemeten stal op bedrijf 2. Blauwe cirkels geven de plaatsen aan van de achtergrondmeting voor temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, CO_2, CH_4, N_2O, NH_3 en PM_{10}. De rode lijn geeft de lucht verzamelleiding uit de stal weer, met de rode cirkels als aanzuigpunten met kritisch capillair. Hier zijn ook meetpunten ingericht voor het meten van PM_{10}. Het rode vierkant geeft de plaats weer waar de meetbuis is geplaatst met daarop aangesloten de apparatuur voor de continumetingen van CO_2 en NH_3 en de datalogger staat. Ook worden hier monsters genomen voor de referentiemetingen van CO_2, CH_4, N_2O, NH_3 en geur.

Foto bedrijf. De pluimveestal met daaromheen de uitloop, de bemeten stal is rechts op de foto te zien. Ten westen hiervan staat een andere pluimveestal voor biologische leghennen.

Luchtfoto bedrijf met omgeving. De pluimveestal waar is gemeten is blauw omcirkeld.

Bijlage 3 Landbouwkundige voorwaarden bedrijf 1 en 2

Onderdeel	Landbouwkundige voorwaarde:	Voldoet
Huisvesting	Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen. Vóór de meetperiode moet de stal minstens twee maanden gebruikt zijn voor de huisvesting van legkippen.	Ja Ja
Klimaat	De legkippen worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO_2-concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft.	Ja
Voeding	De kippen krijgen een gangbaar voerschema (CVB) met minimaal 14 g RE/omzetbare energie leghennen (OElh in MJ/kg) in het voer. Het voerverbruik per aanwezige legkip vanaf 20 weken dient minimaal 105 g per dier per dag te zijn. Waterverstrekking gebeurt onbeperkt. Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine.	Ja Ja
Productie	De eiproductie moet op jaarbasis minimaal 300 eieren/kip zijn.	Ja
Gezondheid en hygiëne	De legkippen krijgen standaard veterinaire zorg. Het uitvalspercentage mag niet hoger zijn dan 10% in de volledige productieperiode.	Ja
Aantal dieren	De groepsgrootte bedraagt minimaal 750	Ja
Registratie	Gedurende vier weken voorafgaand aan de meting: - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling/stal - totaal aantal kg verstrekt strooisel in de afdeling/stal - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling/stal - aanwezige + ingaande en uitgaande dieren (ook tijdens de meting) Tijdens de meting: - productie: aantal eieren, eigewicht en uitval - voeropname - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de afdeling/stal - registratie van voersamenstelling - CO_2-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen	Ja Ja

Bijlage 4 Kalibratie meetapparatuur

Ammoniakmetingen (NH_3)
Draeger ammoniaksensor Polytron 8000.
De instrumenten hebben recente certificaten van de leverancier. Voordat de instrumenten in het onderzoek werden ingezet zijn ze geijkt in het eigen luchtlaboratorium. Middels het aanbieden van een verdunningsreeks NH_3-kalibratiegas is de ijklijn van ieder instrument vastgesteld.

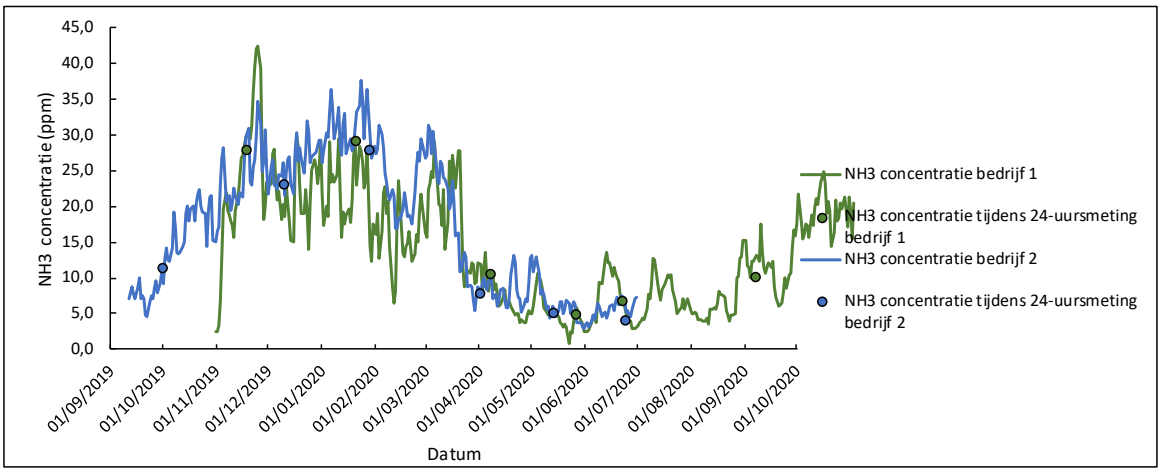
Koolstofdioxidemetingen (CO_2)
Vaisala CO_2-sensor met Carbon Dioxide Probe GMP252.
De instrumenten hebben recente certificaten van de leverancier. Voordat de instrumenten in het onderzoek werden ingezet zijn ze geijkt in het eigen luchtlaboratorium. Middels het aanbieden van een verdunningsreeks CO_2-kalibratiegas is de ijklijn van ieder instrument vastgesteld.

Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid
Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp.

De instrumenten hebben recente certificaten van de leverancier.

Temperatuurbereik: -40ºC tot +60ºC
Luchtvochtigheidsbereik: 0-100%RH
Nauwkeurigheid:
Temperatuur ± 0,1ºC
Luchtvochtigheid ± 0,8%

Bijlage 5 Vergelijk continu- en referentiemetingen ammoniak



Ammoniakconcentratie gedurende de meetperiode. De lijnen geven de concentratie weer gedurende de productieronde gemeten met de ammoniaksensor, de punten geven de ammoniakconcentratie tijdens de 24-uursmetingen, gemeten met de gaswasflessen.

Bijlage 6 Meetwaarden PM_{10}

In de onderstaande tabel staan de individuele meetwaarden weergegeven van de fijnstofconcentraties (mg PM_{10}/m^3) gemeten in de stallen op beide bedrijven. De nummers van de meetpunten komen overeen met de rode stippen die in de plattegrond van beide bedrijven zijn getekend in bijlage 1 en 2. Hierbij is meetpunt 1 de bovenste stip en meetpunt 4 de onderste. In de tabel is het gemiddelde, de standaarddeviatie en de grenswaarden van het 95% betrouwbaarheidsinterval weergegeven. De onderstreepte en dik gedrukte waardes vallen buiten dit betrouwbaarheidsinterval.

	Bedrijf 1						Bedrijf 2					
Locatie	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5	Meting 6	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5	Meting 6
Stal, meetpunt 1	**2,52**	4,49	3,64	6,82	**10,52**	**4,35**	n.b.	1,10	5,69	4,47	**3,49**	1,85
Stal, meetpunt 2	2,66	4,34	3,33	6,48	8,62	3,54	n.b.	0,99	**6,74**	4,58	3,20	1,85
Stal, meetpunt 3	2,64	**5,45**	3,54	**5,81**	6,80	2,66	n.b.	1,06	5,85	3,39	2,62	1,82
Stal, meetpunt 4	2,69	4,34	**2,48**	6,73	7,57	2,95	n.b.	**1,38**	5,86	3,28	2,56	**1,94**
Gemiddelde	2,63	4,66	3,25	6,46	8,38	3,37	n.b.	1,13	6,03	3,93	2,97	1,86
Standaarddeviatie	0,076	0,535	0,530	0,455	1,611	0,749	n.b.	0,174	0,475	0,693	0,451	0,0522
Ondergrens betrouwbaarheidsinterval	2,55	4,13	2,73	6,01	6,80	2,64	n.b.	0,96	5,57	3,25	2,53	1,81
Bovengrens betrouwbaarheidsinterval	2,7	5,2	3,8	6,9	10,0	4,1	n.b.	1,3	6,5	4,6	3,4	1,9

To explore the potential of nature to improve the quality of life

Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.