



Emissiemetingen ECO Zero stal

Onderzoek naar de emissies van ammoniak en fijnstof uit de ECO Zero stal
en de reductie van deze emissies door de ECO Units

Yvo Goselink, Hilko Ellen en Guus Nijeboer

Rapport 1361



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Emissiemetingen ECO Zero stal

Onderzoek naar de emissies van ammoniak en fijnstof uit de ECO Zero stal en de reductie van deze emissies door de ECO Units

Yvo Goselink, Hilko Ellen en Guus Nijeboer

Wageningen Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door de topsector Agri & Food en Avined, binnen het project Ontwerpen voor een gezondere pluimveehouderij (MIP) (AF-16204).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, augustus 2023

Rapport 1361

In dit rapport worden de resultaten beschreven van ammoniak- en fijnstofemissiemetingen aan ECO Units, deze zijn onderdeel van het ECO Zero systeem. De metingen werden uitgevoerd op een praktijkbedrijf met vrije uitloop leghennen. Naast de stal zijn drie ECO Units aanwezig, dit zijn warmtewisselaars met een extra koel- en luchtwasfunctie. Met de koelfunctie kan in warme periodes de ingaande lucht gekoeld worden, waardoor minder ventilatiecapaciteit geïnstalleerd hoeft te worden. Door de uitgaande lucht te wassen met een zuur wordt de ammoniak in de ECO Unit gereduceerd. De manier van lucht inbrengen in de stal kan een verlagend effect hebben gehad op de fijnstofconcentratie in de stal. De hoge mate van mestbandbeluchting kan de ammoniakemissie vanaf de mestband hebben verlaagd. Uit de meetresultaten komt een ammoniakreductie van 77% en een fijnstofreductie van 56% door de ECO Units.

In this report, results are presented of ammonia and particulate matter emission measurements on ECO Units, these are part of the ECO Zero system. Measurements were performed at a free range laying hen farm. Next to the poultry house three ECO Units were installed, these units are heat exchangers with an added cooling and air scrubbing function. The cooling system can reduce air temperatures during warm periods, which reduces the amount of needed ventilation capacity. By washing the outgoing air in the ECO Units with an acid, ammonia emission can be reduced. The way air is entering the poultry house, could have reduced the particulate matter concentration in the house. High manure belt aeration could have led to a reduction of ammonia emission from the manure belt. The measurements show an ammonia reduction of 77% and a particulate matter reduction of 56% by the ECO Units.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/565366> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2023

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.

Inhoud

	Woord vooraf	5
1	Inleiding	7
	1.1 Aanleiding en doel	7
	1.2 Achtergrond	7
	1.3 Opzet rapport	8
2	Materiaal en methoden	9
	2.1 Beschrijving stal en bedrijfssituatie	9
	2.2 Beschrijving techniek en werkingsprincipe	10
	2.3 Meetstrategie	10
	2.4 Meetmethoden	12
	2.4.1 Ammoniak (NH ₃)	12
	2.4.2 Fijnstof (PM ₁₀)	13
	2.4.3 Ventilatie-debiet	13
	2.4.4 Strooiselmest	14
	2.4.5 Waswater	14
	2.4.6 Productiegegevens	14
	2.5 Dataverwerking en analyse	14
	2.5.1 Berekening ventilatie-debiet	14
	2.5.2 Berekening ammoniakemissie overdekte uitloop	14
	2.5.3 Berekening ammoniakemissie en reductiepercentage	15
	2.5.4 Berekening fijnstofemissie en reductiepercentage	15
	2.5.5 Berekening ECO Unit 3	15
	2.5.6 Statistische analyses	16
3	Resultaten	17
	3.1 Meetomstandigheden	17
	3.2 Concentratie, emissie en reductie ammoniak	20
	3.3 Concentratie, emissie en reductie fijnstof	21
	3.4 Strooiselmest en waswater	22
	3.5 Invloedsfactoren reductiepercentages	22
	3.6 Emissie overdekte uitloop	25
4	Discussie	26
5	Conclusie	29
	Literatuur	30
	Bijlage 1 Beschrijving stal, omgeving en meetpunten	31
	Bijlage 2 Landbouwkundige randvoorwaarden	34
	Bijlage 3 IJklijnen meetventilatoren	35
	Bijlage 4 Meetresultaten	36

Woord vooraf

In dit rapport worden de resultaten beschreven van het onderzoek naar de ammoniak- en fijnstofemissie van een ECO-Zero stal en de ammoniak- en fijnstofreductie die de ECO-unit kan realiseren. We willen de pluimveehouder en Vencomatic bedanken voor de constructieve samenwerking bij de uitvoering van de metingen.

De auteurs

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

De metingen beschreven in dit rapport worden uitgevoerd in het kader van het project 'Ontwerpen voor een gezondere pluimveehouderij'. In dit project wordt gewerkt aan diverse maatregelen om de concentraties in de stal, en de emissies van fijnstof, ammoniak en geur uit de stal te verminderen met behoud of verbetering van het huidige niveau van diergezondheid en dierenwelzijn.

Het doel van dit onderzoek was het vaststellen van de ammoniak- en fijnstofemissie van een stal voor leghennen, waarbij het huisvestingsstelsel bestaat uit een binnenruimte met voliëres en een overdekte uitloop en dit geheel geventileerd wordt met een nieuwe techniek, de ECO Unit. Daarnaast worden de ammoniak- en fijnstofreducties die door de ECO Units worden behaald vastgesteld.

1.2 Achtergrond

De warmtewisselaar is reeds jaren toegepast in de vleeskuiken- en leghennensector. Bij de toepassing van een warmtewisselaar wordt inkomende verse lucht in een uitwisselingsunit opgewarmd door uittredende warme ventilatielucht (Ellen et al., 2013). Op deze manier kan energie worden bespaard in de eerste weken van de ronde of gedurende de ronde warme lucht gebruikt worden om de mest op de mestband te drogen. Ook kan er gedurende de winter meer geventileerd worden, waardoor de kwaliteit van de stallucht beter wordt en de mest sneller droogt (Goselink en Ramirez, 2019).

Het emissie reducerende principe van de warmtewisselaar voor ammoniak in een vleeskuikenstal is gebaseerd op het verwarmen en drogen van ingaande lucht (ECN, 2010). Deze verwarmde droge lucht droogt de mest en doordat er warme lucht de stal wordt ingebracht zal er ook meer geventileerd worden waardoor meer vocht de stal verlaat. Een warmtewisselaar bij een leghennenstal kan hetzelfde bereiken door mest op de mestband en strooiselmest verder te drogen. Uit deze drogere mest zal minder ammoniak vrijkomen en worden uitgestoten naar de omgeving.

Het emissie reducerende principe van fijnstof bestaat uit het plakken van stof aan condensatievocht en op de vochtige pakketten in de warmtewisselaar. In het rapport van Ellen et al. (2013) worden metingen beschreven aan twee types warmtewisselaars die 70 tot 90 procent fijnstof reduceren.

In dit rapport worden de metingen beschreven aan de ECO Units. De ECO Unit heeft als extra toevoeging op de warmtewisselaar een koel- en luchtwasfunctie. Met de koelfunctie kan in warme periodes de ingaande lucht gekoeld worden, het voordeel hiervan is dat er een lagere ventilatiecapaciteit nodig is en het klimaat op dierniveau beter is. Deze koeling is indirect adiabatisch waardoor de luchtvochtigheid in de stal niet toeneemt tijdens het koelen. De luchtwasfunctie bestaat uit het sproeien van aangezuurd water over de kanalen van de warmtewisselaar waarmee ammoniak uit de lucht wordt gehaald. Hierdoor wordt de uitstoot van ammoniak naar de omgeving verlaagd. De ECO unit kan de fijnstofconcentratie in de stal op verschillende manieren verlagen. De fijnstofconcentratie wordt op koude dagen verlaagd door een hoger ventilatiedebiet (dit effect kan op warme dagen tegenovergesteld zijn). Daarnaast kan de manier van luchtinbrengen (op de mestband en in de nok van de stal via een slang) zorgen voor meer sedimentatie en minder aerosolisatie van fijnstofdeeltjes.

1.3 Opzet rapport

In dit meetrappport wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op de toegepaste materialen en methoden. Daarbij wordt eerst de ECO Unit waar dit onderzoek zich op richtte beschreven, samen met het werkingsprincipe. Daarna volgt een korte beschrijving van de stal waarin de techniek is toegepast. 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 resultaten van de metingen. De conclusie naar aanleiding van de discussie volgt daarna in hoofdstuk 5.

2 Materiaal en methoden

2.1 Beschrijving stal en bedrijfssituatie

Dit onderzoek is uitgevoerd in een stal voor leghennen met vrije uitloop, zie figuur 2.1. Een gedetailleerde tekening is aanwezig in bijlage 1. De stal bestaat uit:

- Een stalgedeelte met daarin volièrestellingen;

De inrichting van de stal bestaat uit 3 rijen volièrestellingen, het aantal hennen is 26.655 (8,5 dieren per m² leefoppervlak, waarbij de overdekte uitloop meetelt als leefoppervlak). De stal voldoet aan de beschrijving van E 2.11.3 (BWL 2005.04.V1).

- Een overdekte uitloop (wintergarten op de tekening), afgeschermd met geperforeerde damwandplaten van de buitenlucht. Voor de toegang vanuit de stal zijn uitloopopeningen aangebracht in de wand tussen stal en overdekte uitloop. Deze overdekte uitloop is continu beschikbaar voor de dieren en maakt onderdeel uit van het leefoppervlak.

Daarnaast hebben de leghennen overdag ook toegang tot een vrije uitloop, aansluitend aan de overdekte uitloop. Voor de toegang worden luiken geopend onderaan de geperforeerde damwandplaten. Deze vrije uitloop maakt geen onderdeel uit van het leefoppervlak.

In bijlage 1 staat een overzichtsfoto van het bedrijf en van de verdere omgeving. Op deze overzichtsfoto's is te zien dat er geen andere stallen op het bedrijf aanwezig zijn. In de verdere omgeving zijn andere agrarische bedrijven aanwezig, waaronder pluimveebedrijven.



Figuur 2.1 Linksboven: volièrestal met mestbandbeluchting; Rechtsboven: wintergarten; Linksonder: luchtinlaatslang; Rechtsonder: ECO Unit.

2.2 Beschrijving techniek en werkingsprincipe

Naast de stal (aan de andere zijde van de overdekte uitloop) zijn de ECO Units geplaatst (zie bijlage 1). De ECO Units zijn luchtconditioneringsunits die de binnenkomende lucht zowel kunnen opwarmen als afkoelen. Het koelen gebeurt door water te verspreiden (in grove druppels) rondom en op de kanalen waardoor de lucht de stal in wordt gezogen. De koelcapaciteit is zo groot dat er, in verhouding tot stallen zonder deze koeling, minder ventilatiecapaciteit nodig is omdat de staltemperatuur laag genoeg kan worden gehouden. De capaciteit van de ventilatoren in de ECO Units zijn zodanig dat er, over de hele stal, een kleine hoeveelheid lucht meer wordt afgevoerd dan aangevoerd. Hierdoor ontstaat er een lichte onderdruk in de binnenruimte waardoor lucht uit de overdekte uitloop naar binnen wordt gezogen en dus ook de emissies die daar plaatsvinden zoveel mogelijk afgevangen worden in de ECO Units. Daarnaast zijn de geperforeerde damwandplaten van de overdekte uitloop naar de buitenuitloop tijdens de metingen afgeschermd met een zeil om eventuele luchtstromen naar buiten zoveel mogelijk te voorkomen. De stal is verder ook niet voorzien van luchtinlaatsystemen.

De lucht uit een van de ECO Units wordt gedeeltelijk (eerste 1,0 m³/h per dier) gebruikt voor het drogen van de mest op de mestbanden in de volièrestellingen. Indien de ventilatiebehoefte hoger wordt, komt lucht de stal binnen via een luchtinlaatslang boven in de stal. Daartoe worden de beide andere ECO Units bijgeschakeld. Deze worden synchroon aangestuurd wat betreft capaciteit (zowel ingaand als uitgaand).

Het emissie-reducerende principe van de ECO Unit bestaat uit een hogere minimumventilatie, waardoor mest beter gedroogd kan worden (mestbandbeluchting), een lager gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele productieperiode (en jaar) vanwege de koeling en een ander luchtbewegingspatroon in de stal door de wijze van luchtinbrengen. Daarnaast vangt de warmtewisselaar NH₃ en PM₁₀ af. Door het toevoegen van zuur aan het koelwater in de buffertank van de ECO Unit, wordt een extra element toegevoegd voor het afvangen van NH₃. De ECO Units zijn aangesloten op een voorraadvat van waaruit vers water wordt aangevoerd naar de buffertanks van de ECO Units. De pH van het voorraadvat wordt op een pH van maximaal 5 gehouden, waardoor de pH van het water in de buffertanks tussen de 5 en 6 zal zijn. Het sproeien van het (koel)water is semi-continu in werking gedurende de gehele ronde. De pH wordt in het voorraadvat en in de middelste ECO Unit continu gemeten en elke vijf minuten gelogd. De geleidbaarheid wordt gemeten in het voorraadvat en eveneens elke vijf minuten gelogd. De toevoeging van zuur aan het waswater wordt gebaseerd op de gemeten pH en het spuien van waswater wordt gebaseerd op de gemeten geleidbaarheid.

2.3 Meetstrategie

Emissie-reducerende technieken voor stallen worden getest volgens meetprotocollen zoals die zijn opgesteld in Nederland (Ogink et al., 2017) en in het internationale VERA collectief (VERA, 2018). Deze protocollen schrijven o.a. het volgende voor:

- een techniek moet op vier bedrijfslocaties worden bemeten om variatie in de prestatie van de techniek tussen bedrijven (t.g.v. ras, management, voeding, enzovoort) mee te nemen in het uiteindelijke reductiepercentage;
- of de metingen dienen plaats te vinden in een proefstal versus een identieke referentiestal op hetzelfde bedrijf (een 'case-control' strategie) dan wel ná versus vóór een end-of-pipe-techniek;
- per locatie moeten er zes 24-uursmetingen uitgevoerd worden. Daarvan moeten tenminste vier metingen per bedrijfslocatie en in totaal tenminste 80% betrouwbare resultaten opleveren. Door metingen over 24 uur uit te voeren wordt alle variatie die er binnen een dag optreedt meegenomen in de resultaten. De metingen moeten worden gespreid over het kalenderjaar en de productieperiode van de dieren om ook variatie t.g.v. seizoenen en productiestadia van dieren mee te nemen in de resultaten;
- de emissie bestaat uit het product van ventilatiedebiet maal concentratie van een vervuilde stof verminderd met de in de achtergrond aanwezige concentratie. Het protocol schrijft zowel voor het meten van het ventilatiedebiet als het meten van concentraties een aantal wetenschappelijk valide meetmethoden voor. Voor pluimveestallen waar meerdere ventilatoren aanwezig zijn (wat het gebruik van meetwaaiers

belemmert) wordt de CO₂-balansmethode als een valide methode beschouwd om het ventilatiedebiet te bepalen;

- de bemeten stallen dienen te voldoen aan landbouwkundige randvoorwaarden, zie bijlage 2. Hierin staat opgenomen welke variabelen 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.

Als meetstrategie voor het berekenen van de emissiereductie is de "ná versus vóór een end-of-pipe-techniek" toegepast. Hierbij is in de stal op vijf plekken gemeten waar lucht wordt afgezogen. Daarnaast is in de luchtstroom gemeten aan het einde van de ECO Unit, dit is in twee van de drie ECO Units gemeten. Op de stalplattengrond in bijlage 1 zijn de meetpunten aangeduid. Om de emissie van het stalsysteem te berekenen is gebruik gemaakt van de gemeten waardes vóór de end-of-pipe-techniek.

Tijdens voornoemde meetdagen zijn de concentraties van ammoniak en fijnstof gemeten. Voor zowel ammoniak als fijnstof zijn ook metingen in de buitenlucht (achtergrondconcentratie) uitgevoerd; voor de middelste ECO Unit waar lucht de stal wordt ingezogen.

Voor het bepalen van de concentraties in de uitgaande luchtstroom in de stal is een positie gekozen zo dicht mogelijk bij de buizen die zorgen voor de afvoer van de stallucht. Voor de luchtstroom in de ECO Units zijn de concentraties bepaald vlak voordat de lucht de ECO Units verlaat. Figuur 2.2 geeft de situatie in de bemeten stal weer van de meetpositie ten opzichte van afzuigbuizen en de situatie in de ECO Units



Figuur 2.2 Plaats van de meting van de concentraties in de ECO Unit (links) en in de stal (rechts)

2.4 Meetmethoden

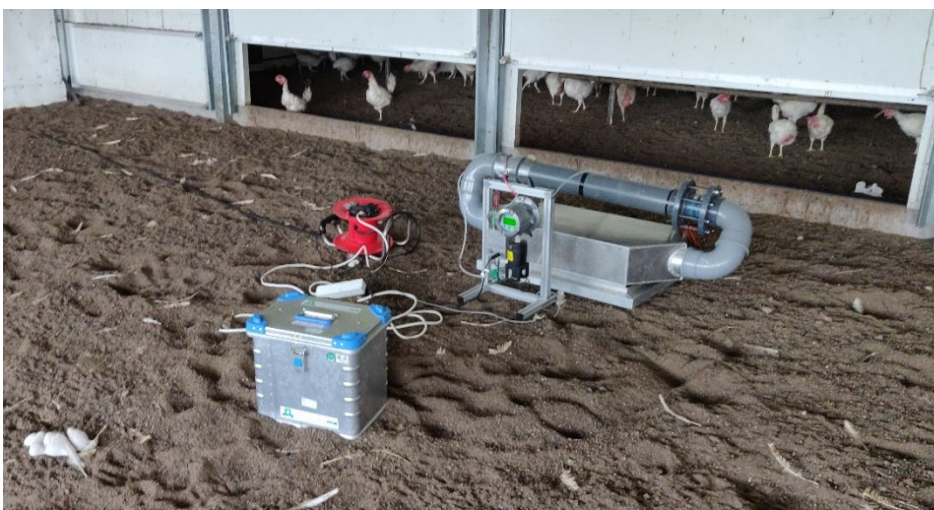
2.4.1 Ammoniak (NH_3)

Voor het meten van de ammoniakconcentratie in de uitgaande luchtstromen en de achtergrondconcentratie werd gebruik gemaakt van de zogenaamde 'natchemische methode'. Bij deze meetmethode wordt de lucht via een monsternameleiding met een constante luchtstroom aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair van $\sim 1,0$ L/min (figuur 2.3). De aangezogen lucht werd door drie in serie geplaatste impingers (wasflessen) gezogen. De eerste twee impingers waren gevuld met 100 ml salpeterzuur waarin de ammoniak werd ingevangen als ammonium (NH_4^+). De tweede impinger werd gebruikt om eventuele doorslag van ammoniak door de eerste impinger op te vangen. Om doorslag naar de pomp te voorkomen werd de lucht na de twee impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid. De metingen werden per meetplek, zowel binnen als buiten de stal, in duplo (twee sets van drie impingers) uitgevoerd. De molariteit van de zure oplossing in de wasflessen is afhankelijk van het aanbod van ammoniak dat moet worden gebonden en bedroeg hier 0,5M. Na de bemonsteringstijd (24 uur) werd de concentratie van als ammonium ingevangen ammoniak spectrofotometrisch bepaald. Aan het begin en aan het einde van de monstername werd de exacte luchtstroom door de wasflessen bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, VS). Op basis van de bemonsteringsduur, de flow rate, de ammoniumconcentratie en de hoeveelheid opvangvloeistof werd de ammoniakconcentratie in de bemonsterde lucht bepaald.



Figuur 2.3 Meetopstelling natchemische methode voor ammoniakbemonstering. Links: impingers. Midden: Flowmeter. Rechts: pomp met kritisch capillairen.

Naast het meten van de stalconcentraties ammoniak, ten behoeve van de berekening van de ammoniakemissie, is de emissie vanuit de overdekte uitloop bepaald met de gesloten box methode. Hierbij wordt een gesloten box over een bepaald oppervlakte van de strooisellaag gezet. Doordat de box gesloten is, stijgt de concentratie hierin. Aan de hand van de stijgende concentratie kan de emissie vanuit de overdekte uitloop worden bepaald. De gesloten box methode is in elk compartiment van de overdekte uitloop één keer uitgevoerd. De concentratie hierin werd gemeten m.b.v. de Dräger Polytron 8000 gedurende 10 minuten.



Figuur 2.4 Boxmeting met Dräger in overdekte uitloop

2.4.2 Fijnstof (PM₁₀)

De concentratie van PM₁₀ werd gemeten volgens de gravimetrische meetmethode. PM₁₀ werd verzameld op een filter nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM₁₀-cycloon (URG Corp, Chapel Hill, VS). Het PM₁₀ 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 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ en $50 \pm 5\%$ 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 PM₁₀. Lucht werd door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamepompen van het type Charlie HV (roterend, max. 6 m³/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 m³/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 PM₁₀ (mg) te delen door de gemeten flow (m³).

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

- PM₁₀ < 222,6 µg/m³: $Y = 1,0877 * X$
 - PM₁₀ > 222,6 µg/m³: $Y = 0,8304 * X + 57,492$
- (X = gemeten concentratie)

In dit rapport wordt de concentratie en emissie van PM₁₀ met bovenstaande correctie weergegeven. Deze waarde is te vergelijken met eerder beschreven concentraties en emissies van PM₁₀. In Winkel et al. (2015) wordt echter aangegeven dat deze correctiefactor niet nodig is. Daarom wordt in de conclusie tussen haakjes de waarde zonder toegepaste correctie weergegeven.



Figuur 2.5 Monsterapparatuur voor het meten van PM₁₀ d.m.v. gravimetrie. Links: detailfoto van de 'constant flow' pomp. Rechts: cycloonmeetkop voor gravimetrische meting van PM₁₀.

2.4.3 Ventilatie-debiet

Ten behoeve van het vaststellen van het ventilatie-debiet is gebruik gemaakt van de reeds aanwezige meetventilatoren. Hiervoor is voordat gestart is met de metingen een ijklijn gemaakt voor elk van de drie ECO Units. De ijklijnen zijn gemaakt door met behulp van een windsnelheidsmeter op drie plekken op de

doorsnede van de buis windsnelheid te meten. Deze plekken corresponderen met het middelpunt van een derde deel van het oppervlak van de buis. Op deze plekken zijn gedurende 1 minuut 12 waarnemingen (log interval = 5 s) gedaan. Dit is vanaf 10% van het maximaal vermogen gedaan in stappen van 10%. De ijklijnen hiervoor zijn te vinden in bijlage 3.

2.4.4 Strooiselmest

Ter controle zijn monsters genomen van de strooiselmest op dezelfde dagen als emissiemetingen zijn uitgevoerd. Deze monsters zijn geanalyseerd op het drogestof-, totaal-N en ammonium-N gehalte. Hiervoor is een verzamelmonster gemaakt van elke strooiselgang.

2.4.5 Waswater

Ter controle van het functioneren van de ECO Units is van twee van de drie ECO Units waswater verzameld, dit is vervolgens geanalyseerd op de geleidbaarheid, pH en ammonium-N gehalte.

2.4.6 Productiegegevens

Van iedere dag dat een emissiemeting is uitgevoerd zijn productiegegevens verzameld om na te gaan of is voldaan aan de landbouwkundige randvoorwaarden van het meetprotocol (Ogink et al., 2017):

- aantal aanwezige dieren;
- gemiddeld diergewicht;
- eiproduktie: legpercentage/aantal eieren en gemiddeld eigewicht;
- voerverbruik van de dieren;
- waterverbruik van de dieren;
- voersamenstelling;
- uitval;
- evt. toediening van medicatie of additieven.

2.5 Dataverwerking en analyse

2.5.1 Berekening ventilatiedebiet

Voor het berekenen van het ventilatiedebiet is gebruik gemaakt van de gelogde gegevens in de klimaatcomputer en vervolgens is hier de gemaakte ijklijn op toegepast. De ijklijnen zijn te vinden in bijlage 3.

2.5.2 Berekening ammoniakemissie overdekte uitloop

De emissie vanaf de overdekte uitloop kan worden afgeleid volgens de formule van Mosquera et al. (2010):

$$E = \frac{V * (C_1 - C_0)^2}{A * t * (2C_1 - C_2 - C_0)} * \ln\left(\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_1}\right)$$

Waarin:

- E = emissie ammoniak in g NH₃/m² strooiseloppervlak per dag
- V = volume box en leidingen in m³
- A = oppervlakte onder de box in m²
- C₀ = concentratie op t=0 (moment dat box op oppervlakte wordt geplaatst)
- C₁ = concentratie op t
- C₂ = concentratie op 2*t

2.5.3 Berekening ammoniakemissie en reductiepercentage

Per meting werden de emissies (E ; kg NH_3 /dierplaats per jaar) van ammoniak bepaald voor de stal (E_{stal}) en de ECO Units ($E_{\text{ECO Units}}$) op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode (24-uursgemiddelde; V [m^3/uur]) en de gemiddelde concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_{uit} [ppm]) en in de ingaande (achtergrond-)lucht (C_{in} [ppm]). De emissies op jaarbasis werden uitgedrukt per dierplaats en gecorrigeerd voor een leegstandsperiode voor leghennen van 5% (Ogink et al., 2017):

$$E = \frac{V}{D_p} \times (C_{\text{uit}} - C_{\text{in}}) \times 0,71 \times 10^{-6} \times 24 \times 365 \times 0,95$$

waarbij:

- E = emissie ammoniak in kg NH_3 per dierplaats per jaar
- V = ventilatiedebiet in m^3/uur
- D_p = aantal dierplaatsen
- C_{uit} = concentratie in uitgaande luchtstroom in ppm
- C_{in} = concentratie in ingaande luchtstroom in ppm
- $0,71 \times 10^{-6}$ = omrekenfactor ppm naar kg/m^3
- 24 = uren per dag
- 365 = aantal dagen per jaar
- 0,95 = leegstandsfactor

De emissiereductie (P) werd berekend als het gemiddelde proportionele verschil tussen de emissiewaardes op het afzuigpunt in de stal van één van de drie ECO Units en de emissie vanuit deze ECO Unit.

2.5.4 Berekening fijnstofemissie en reductiepercentage

Per meting werden de emissies (E ; g PM_{10} /dier per jaar) van fijnstof bepaald voor de stal (E_{stal}) en de ECO Units ($E_{\text{ECO Units}}$) op basis van het gemiddeld ventilatiedebiet over de gehele meetperiode (24-uursgemiddelde; V [m^3/uur]) en de gemiddelde concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_{uit} [g $\text{PM}_{10}/\text{m}^3$]) en in de ingaande (achtergrond-)lucht (C_{in} [g $\text{PM}_{10}/\text{m}^3$]). De emissies op jaarbasis werden uitgedrukt per aanwezig dier en gecorrigeerd voor een leegstandsperiode voor leghennen van 5% (Ogink et al., 2011):

$$E = \frac{V}{D_a} \times (C_{\text{uit}} - C_{\text{in}}) \times 24 \times 365 \times 0,95$$

waarbij:

- E = emissie fijnstof in g PM_{10} per dier per jaar
- V = ventilatiedebiet in m^3/uur
- D_a = aantal dieren aanwezig
- C_{uit} = concentratie in uitgaande luchtstroom in g $\text{PM}_{10}/\text{m}^3$
- C_{in} = concentratie in ingaande luchtstroom in g $\text{PM}_{10}/\text{m}^3$
- 24 = uren per dag
- 365 = aantal dagen per jaar
- 0,95 = leegstandsfactor

De proportionele emissiereductie (P) werd berekend als het proportionele verschil tussen de overall gemiddelde emissie (E_{stal}) van de stal en de overall gemiddelde emissie ($E_{\text{ECO Units}}$) van de ECO Units.

2.5.5 Berekening ECO Unit 3

Aan de derde ECO Unit zijn geen metingen uitgevoerd. Om toch de totale uitstoot van ammoniak en fijnstof te berekenen is gebruik gemaakt van de ammoniak- en fijnstofreductie van de eerste ECO Unit. Deze waarde is vermenigvuldigt met de fijnstofconcentratie of ammoniakconcentratie gemeten bij de afzuiging van de derde ECO Unit. De opzet en instellingen van ECO Unit 3 zijn identiek aan ECO Unit 1.

2.5.6 Statistische analyses

Verschillen tussen de ammoniak- en fijnstofconcentratie en emissie zijn getoetst op significantie door middel van gepaarde *t*-toetsen. Deze variabelen zijn eenzijdig getoetst, uitgaande van de onderzoekshypothese van hogere waarden in de stal ten opzichte van de lucht die de ECO Units verlaat.

Relaties tussen het reductiepercentage en mogelijke invloedsfactoren op de effectiviteit van de techniek werden verkend met behulp van Enkelvoudige Lineaire Regressie. Hier is een effect van de invloedsfactor (*x*-variabele) op het reductiepercentage (*y*-variabele) verkend door te toetsen of de richtingscoëfficiënt significant afwijkt van nul. De mogelijke invloedsfactoren die verkend zijn voor de ammoniakreductie zijn de pH van het waswater, het ventilatiedebiet en de ammoniakconcentratie in de stal. Voor de fijnstofreductie zijn dit het ventilatiedebiet en de fijnstofconcentratie in de stal.

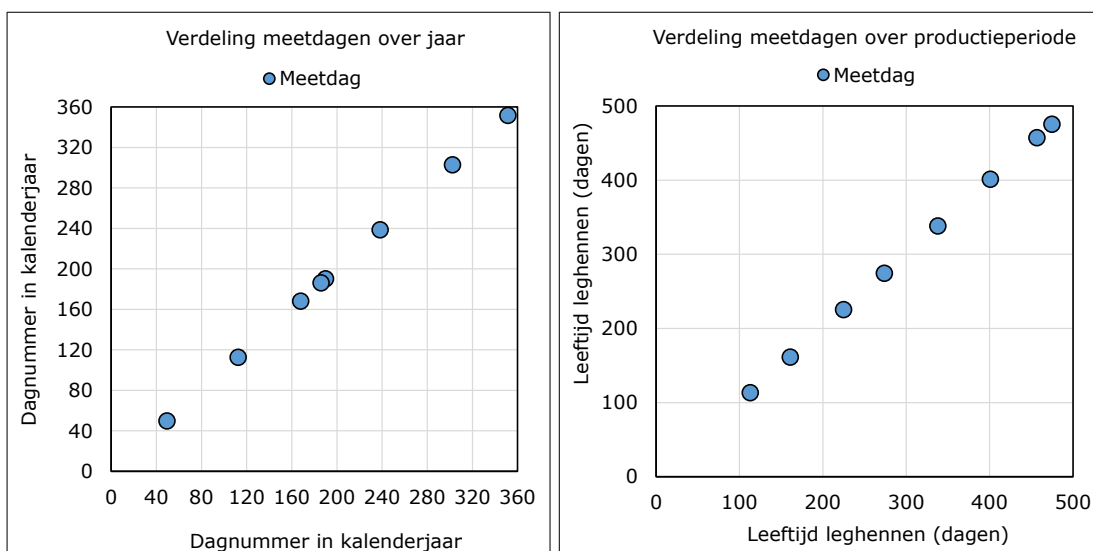
Verschillen werden als statistisch significant beschouwd bij een *P*-waarde <0,05 en als trendmatig bij een *P*-waarde tussen 0,05 en 0,10. Alle analyses werden uitgevoerd met behulp van het statische programma Genstat (2018).

3 Resultaten

3.1 Meetomstandigheden

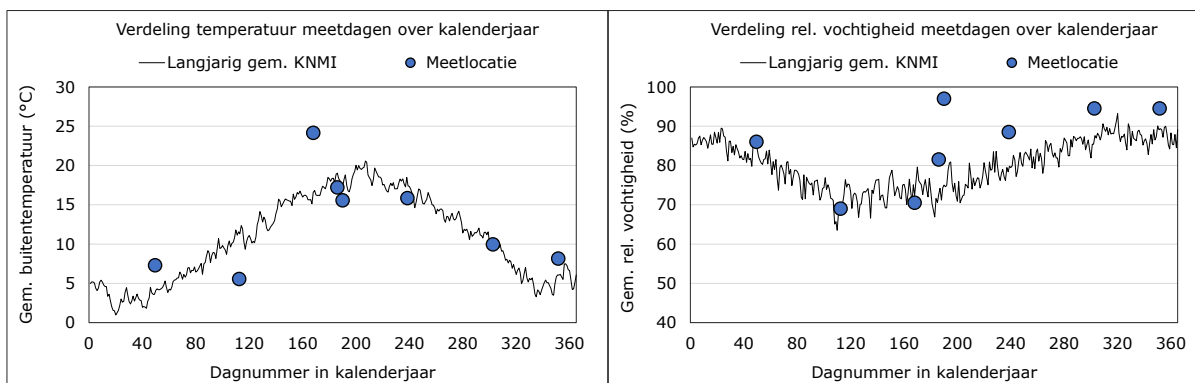
Het Nederlandse meetprotocol voor ammoniak (Ogink et al., 2017) schrijft voor dat er per bedrijfslocatie minimaal zesmaal gemeten moet worden. De metingen moeten gelijkmatig verdeeld over een jaar zijn verricht en minimaal 80% van de metingen moet betrouwbare resultaten opleveren. In figuur 3.1 zijn 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 acht fijnstofmetingen uitgevoerd waarvan 6 betrouwbare metingen en er zijn totaal 7 ammoniakmetingen uitgevoerd, waarvan 6 betrouwbare metingen. De metingen zijn uitgevoerd in de maanden juli 2020 tot en met juli 2021. Het gemiddelde dagnummer van de metingen is 200. Dit valt iets hoger uit dan het nagestreefde dagnummer van 183, maar wordt sterk beïnvloed door een meting in december en een niet betrouwbare meting in juli. Op het bedrijf zijn meting 3 t/m 8 uitgevoerd waarbij de dieren geen toegang hadden tot de vrije uitloop vanwege de dreiging van Aviaire Influenza (AI).

De metingen zijn uitgevoerd bij een gemiddelde leeftijd van de leghennen van 306 dagen, dit is vrij hoog vanwege de grote dreiging van AI tijdens de start van de ronde en de lange productieperiode van de dieren.



Figuur 3.1 Verdeling van de metingen over het jaar (links) en productieperiode (rechts).

In figuur 3.2 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 was 13,0 °C. Dit ligt boven het langjarig gemiddelde van 10,7 °C. De relatieve luchtvochtigheid buiten was gemiddeld 85,2%. Dit is hoger dan het langjarige gemiddelde van 80,0%. De metingen zijn dus uitgevoerd op relatief warme dagen met een hoge luchtvochtigheid. Met name het hoge aantal metingen in de zomer en de vochtige metingen in 2020 hebben hieraan bijgedragen.



Figuur 3.2 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).

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 randvoorwaarden.

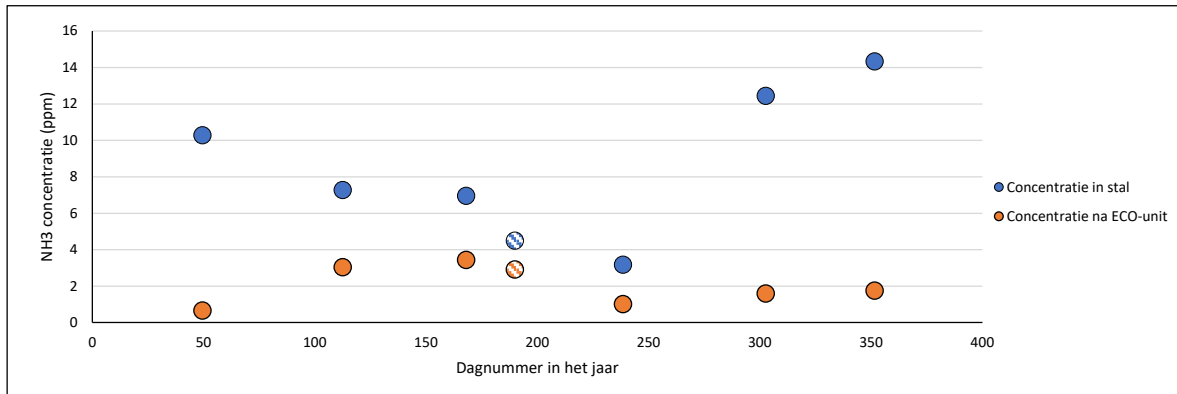
De gemiddelde temperatuur in de stal bedroeg 24,9 °C. Meting 7 en 8 zitten hier met respectievelijk 29,1 en 27,5 °C ruim boven, waarschijnlijk vanwege de hogere buitentemperatuur op deze dagen. Het gemiddelde ventilatiedebiet bedroeg 1,8 m³/dier per uur. Het ventilatiedebiet is relatief laag vanwege de koeling in de ECO Units op warme dagen, hierdoor is een lager ventilatiedebiet voldoende.

Tabel 1 Datums waarop de metingen zijn uitgevoerd met dagnummer in het jaar en dagnummer in productieperiode, relevante technische resultaten, de klimaatomstandigheden (buitenklimaat en in de stal) en de gemeten emissies van fijnstof en ammoniak. De schuingedrukte waarden (voor ammoniak meting 1; voor fijnstof meting 1 en 7) worden niet meegenomen in de verdere berekeningen.

Variabele [eenheid]	METING 1	METING 2	METING 3	METING 4	METING 5	METING 6	METING 7	METING 8
Algemeen								
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	08/07/2020	25/08/2020	28/10/2020	16/12/2020	18/02/2021	22/04/2021	17/06/2021	05/07/2021
Tijd start meting [hh:mm]	11:00	10:53	13:30	12:30	12:00	09:30	10:30	15:00
Datum einde meting [dd-mm-yyyy]	09/07/2020	26/08/2020	29/10/2020	17/12/2020	19/02/2021	23/04/2021	18/06/2021	06/07/2021
Tijd einde meting [hh:mm]	11:00	10:53	13:30	12:30	12:00	09:30	10:30	15:00
Dagnummer in jaar [#]	190	238	303	352	50	113	168	186
Productiekengetallen								
Opzetdatum dieren [dd-mm-yyyy]	17/03/2020	17/03/2020	17/03/2020	17/03/2020	17/03/2020	17/03/2020	17/03/2020	17/03/2020
Ras	DekalbWhite	DekalbWhite	DekalbWhite	DekalbWhite	DekalbWhite	DekalbWhite	DekalbWhite	DekalbWhite
Dagnummer in productieronde	113	161	225	274	338	401	457	475
Aantal dieren geplaatst	26655	26655	26655	26655	26655	26655	26655	26655
Aantal dieren aanwezig	26518	26470	26357	26251	26100	25859	25560	25444
Legpercentage [%]	97,39	97,83	96,81	95,25	94,76	91,44	90,09	87,79
Eigewicht [g]	59,06	59,97	61,92	61,77	62,53	62,83	62,82	62,26
Uitval cumulatief [%]	0,51	0,69	1,12	1,52	2,08	2,99	4,11	4,54
Diergewicht [g]	1645	1660	1671	1679	1689	1699	1709	1712
Voeropname [g/dier per dag]	113	119	129	114	122	120	126	127
Wateropname [mL/dier per dag]	202	198	236	221	234	238	247	234
Water/voer-verhouding	1,79	1,66	1,83	1,94	1,92	1,98	1,96	1,84
Buitenluchtcondities								
Gem. temperatuur (KNMI) [°C]	15,6	15,9	10,0	8,2	7,3	5,6	24,2	17,2
Gem. relatieve luchtvochtigheid (KNMI) [%]	97	89	95	95	86	69	71	82
Achtergrond PM10 [µg/m³]	14,1	41,1	17,3	29,5	43,2	16,4	40,0	20,3
Achtergrond NH3 [ppm]	0,10	0,07	0,09	0,09	0,10	0,13	0,09	niet gemeten
Stallucht en ventilatie								
Gem. luchttemperatuur [°C]	24,2	24,6	23,4	23,1	23,6	23,5	29,1	27,5
Ventilatie-debiet [m³/h per dier]	1,99	2,21	1,42	1,37	1,34	1,26	2,34	2,27
Fijnstofconcentraties en -emissies								
Gem. concentratie stal PM10 [mg/m³]	3,93	2,85	2,47	4,45	4,37	4,44	4,03	3,17
Gem. concentratie na ECO-unit PM10 [mg/m³]	2,60	0,82	1,50	2,37	2,19	2,21	1,69	0,84
Gem. emissie stal PM10 [g/dier per jaar]	60,6	50,8	28,3	49,1	46,4	42,7	76,3	59,9
Gem. emissie PM10 na ECO-unit [g/dier per jaar]	43,3	13,9	17,5	26,6	23,8	23,0	33,2	15,8
Emissiereductie PM10 rel. [%]	29%	73%	38%	46%	49%	46%	57%	74%
Ammoniakconcentraties en -emissies								
Gem. concentratie stal NH3 [ppm]	4,48	3,17	12,44	14,33	10,27	7,27	6,95	niet gemeten
Gem. concentratie na ECO-unit NH3 [ppm]	2,90	1,01	1,59	1,75	0,65	3,03	3,44	
Gem. emissie stal NH3 [kg/dierplaats per jaar]	0,049	0,038	0,098	0,109	0,076	0,050	0,087	
Gem. emissie NH3 na ECO-unit [kg/dierplaats per jaar]	0,030	0,012	0,012	0,013	0,004	0,021	0,043	
Emissiereductie NH3 rel. [%]	38%	67%	87%	88%	94%	58%	50%	

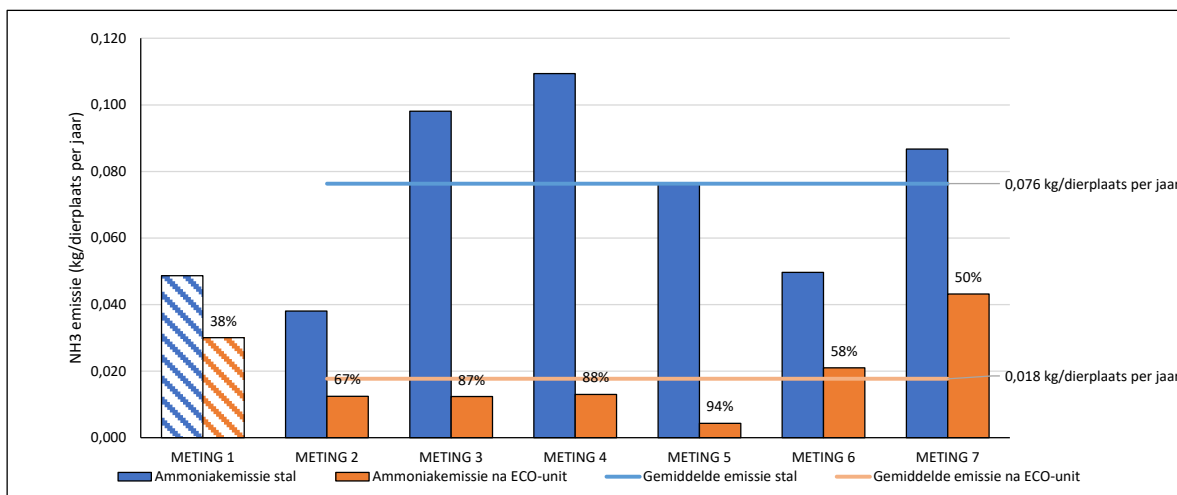
3.2 Concentratie, emissie en reductie ammoniak

De ammoniakconcentraties over het jaar zijn weergegeven in figuur 3.3. Uit de figuur blijkt dat de ammoniakconcentratie in de stal lager is gedurende de zomerperiode. De concentratie ammoniak lijkt in diezelfde periode hoger te zijn na de ECO Unit. De gemiddelde ($\pm$ standaardafwijking) NH_3 concentratie in de stal bedroeg 9,1 ($\pm$ 4,1) ppm versus 1,9 ($\pm$ 1,1) ppm na de ECO Unit wat statistisch significant verschillend is ($P=0,005$).



Figuur 3.3 Ammoniakconcentraties over de productieperiode (bolletjes met patroon geven de foutieve meting 1 weer).

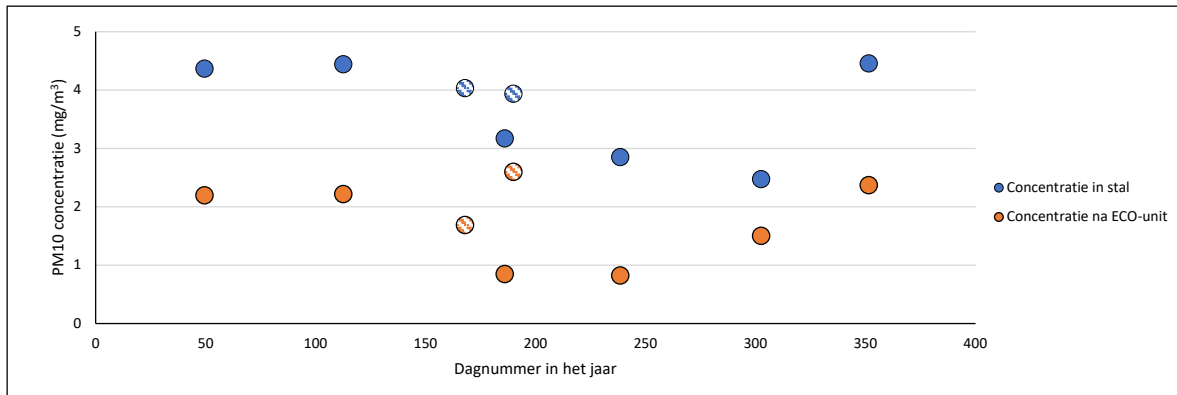
De ammoniakemissies vanuit de stal en na de ECO Units zijn weergegeven in figuur 3.4. Meting 1 wordt hierin wel weergegeven, maar niet gebruikt voor de gemiddeldes en emissiereductie. Dit omdat tijdens meting 1 de concentratie in de stal lager was dan na de middelste ECO Unit. Van de emissie uit de stal en na de ECO Units zijn gemiddeldes genomen. Hieruit blijkt dat de stal een gemiddelde emissie heeft van 0,076 ($\pm$ 0,028) kg NH_3 /dierplaats per jaar en na de ECO Units 0,018 ($\pm$ 0,014) kg NH_3 /dierplaats per jaar, dit verschil is statistisch significant ($P=0,003$). Met behulp van deze twee emissiecijfers kan de reductie worden bepaald van de ECO Units, dit blijkt 77% te zijn.



Figuur 3.4 Ammoniakemissies per meting in kg NH_3 /dierplaats per jaar. De blauwe staven geven de emissies van de stal weer, de oranje staven geven weer wat de emissie is als de lucht vanuit de stal door de ECO Units is geweest. De blauwe en oranje lijn geven het gemiddelde weer.

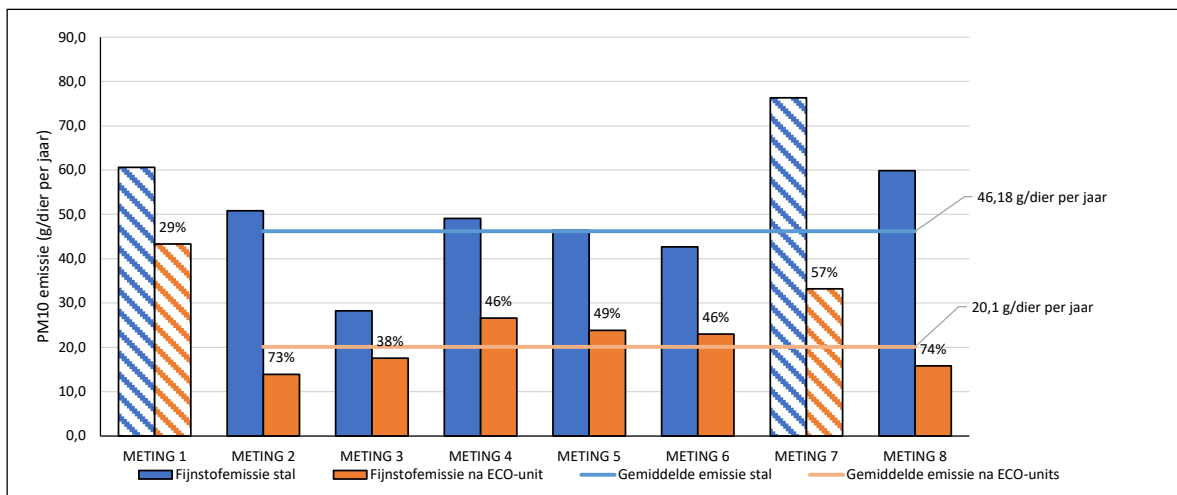
3.3 Concentratie, emissie en reductie fijnstof

De fijnstofconcentraties over het jaar zijn weergegeven in figuur 3.5. Uit de figuur blijkt dat de fijnstofconcentratie in de stal lager is gedurende de zomerperiode. De concentratie fijnstof lijkt in diezelfde periode ook lager te zijn na de ECO Unit. De gemiddelde ($\pm$ standaardafwijking) PM_{10} concentratie in de stal bedroeg $3,8 (\pm 0,9)$ mg/m^3 versus $1,9 (\pm 0,7)$ mg/m^3 na de ECO Unit wat statistisch significant verschillend is ($P < 0,001$).



Figuur 3.5 Fijnstofconcentraties over de productieperiode (bolletjes met patroon geven de foutieve meting 1 en 7 weer).

De fijnstofemissies vanuit de stal en na de ECO Units zijn weergegeven in figuur 3.6. Meting 1 en 7 worden hierin wel weergegeven, maar niet gebruikt voor de gemiddeldes en emissiereductie. Dit omdat tijdens meting 1 de concentratie in de stal lager was dan na de middelste ECO Unit, tijdens meting 7 zijn meerdere stofpompen uitgevallen waardoor niet genoeg betrouwbare gegevens over zijn gebleven. Van de emissie uit de stal en na de ECO Units zijn gemiddeldes genomen. Hieruit blijkt dat de stal een gemiddelde emissie heeft van $46,2 (\pm 10,5)$ g PM_{10} /dier per jaar en na de ECO Units $20,1 (\pm 5,0)$ g PM_{10} /dier per jaar, dit verschil is statistisch significant ($P = 0,002$). Met behulp van deze twee emissiecijfers kan de reductie worden bepaald van de ECO Units, dit blijkt 56% te zijn.



Figuur 3.6 Fijnstofemissies per meting in g PM_{10} /dier per jaar. De blauwe staven geven de emissies van de stal weer, de oranje staven geven weer wat de emissie is als de lucht vanuit de stal door de ECO Units is geweest. De blauwe en oranje lijn geven het gemiddelde weer.

3.4 Strooiselmest en waswater

In de onderstaande tabel zijn de gegevens weergegeven van de analyses op het waswater uit de ECO Units en het strooisel in de stal.

Tabel 2 Data waarop de metingen zijn uitgevoerd met dagnummer in het jaar en dagnummer in productieperiode

	Waswater			Strooisel		
	NH ₄ -N (mg/l)	pH	EC (mS/cm)	N (g/kg)	NH ₄ -N (g/kg)	DS (g/kg)
Meting 1*	1524	5,0	-	24,1	1,2	845
Meting 2	713	4,3	11,8	21,5	1,4	828
Meting 3	2224	4,7	23,6	21,9	1,9	783
Meting 4	3443	4,5	28,1	-	-	789
Meting 5	2385	3,6	21,2	-	-	791
Meting 6	2927	3,5	27,6	-	-	831
Meting 7	2647	4,8	28,1	-	-	828
Gemiddelde	2390	4,2	23,4	21,7	1,6	808
Standaarddeviatie	± 928	± 0,6	± 6,4	± 0,3	± 0,4	± 23

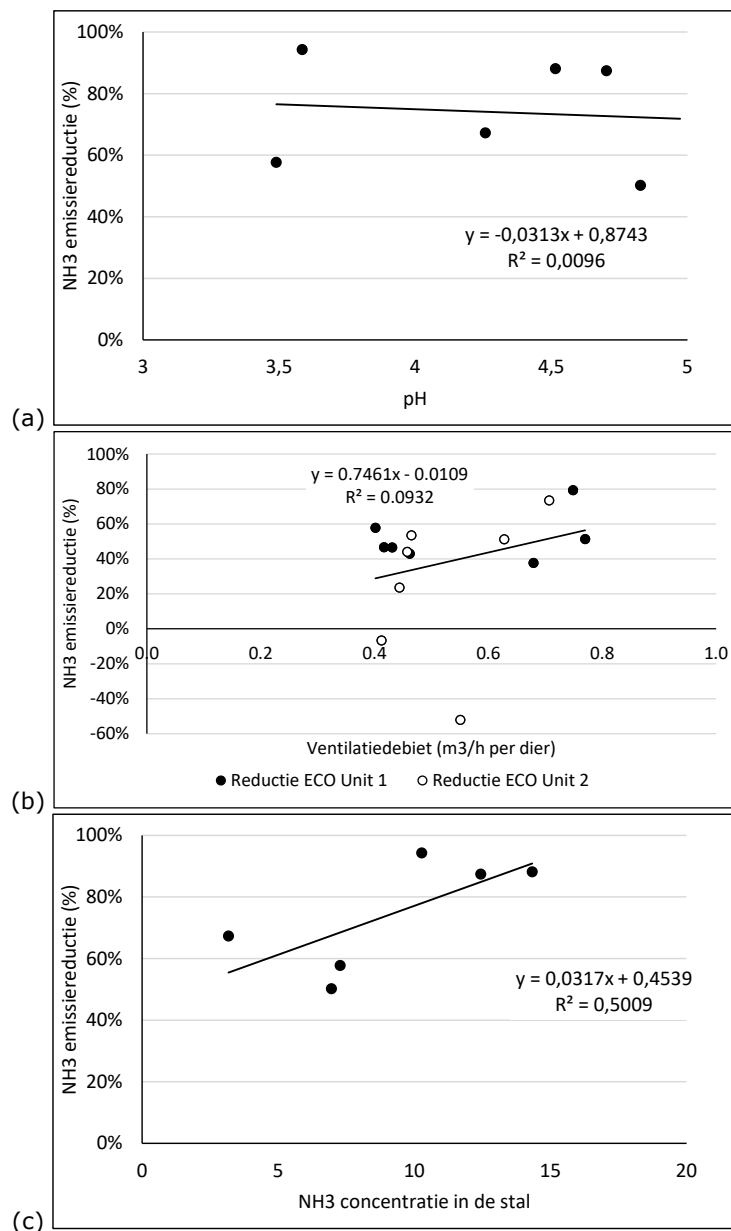
*Meting 1 wordt niet gebruikt voor verdere berekeningen vanwege de mislukte ammoniak- en fijnstofmeting.

De pH van het waswater ligt met 4,2 gemiddeld hoger dan de pH die veelal wordt gebruikt als eis van luchtwassers in de BWL-beschrijvingen. Deze eis is normaal gesproken een pH van maximaal 3 of 4. Het effect van de pH op de ammoniakemissiereductie wordt in paragraaf 3.5 weergegeven. De EC ligt met gemiddeld 23,4 mS/cm relatief laag ten opzichte van de eis maximaal 250 mS/cm die veelal wordt gesteld in de BWL-beschrijving van luchtwassers. Het strooisel is met 808 g/kg droge stof relatief droog vergeleken met de resultaten beschreven in Mosquera et al. (2016).

3.5 Invloedsfactoren reductiepercentages

Ammoniak

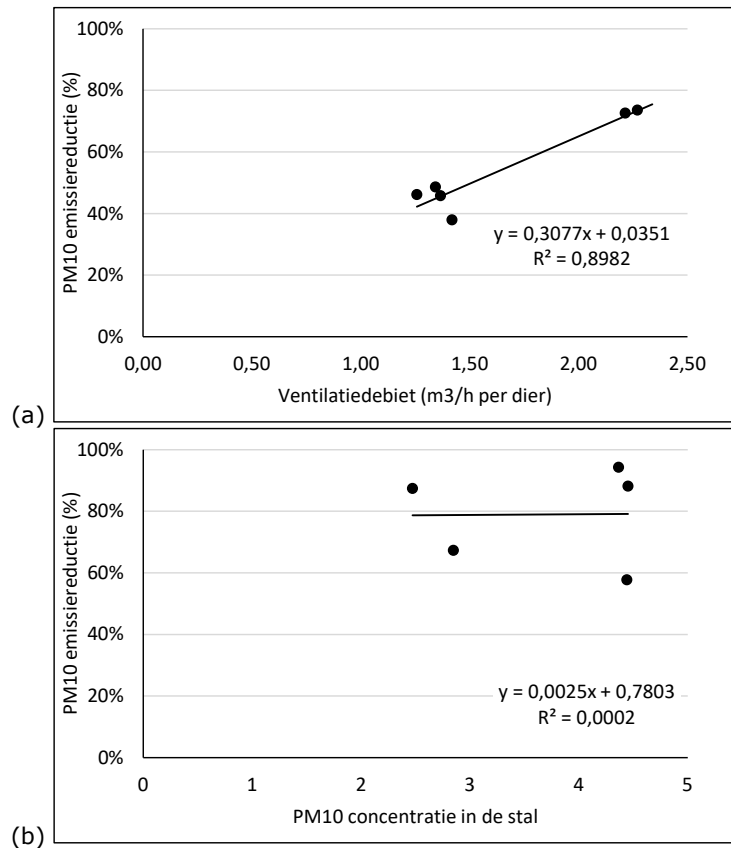
In figuur 3.7 worden de reductiepercentages van ammoniak weergegeven als functie van de pH, ventilatiedebiet en ammoniakconcentratie in de stal. Omdat het slechts gaat om zes waarnemingen van één locatie moet deze verkenning naar invloedsfactoren op de effectiviteit van de techniek met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. Het algemene beeld uit figuur 3.7 is dat van een reductiepercentage dat niet wordt beïnvloed door de pH ($P=0,854$). De emissiereductie lijkt wel te stijgen bij een hoger ventilatiedebiet en hogere ammoniakconcentratie in de stal. Deze invloedsfactoren zijn echter niet significant (ventilatiedebiet $P=0,370$; ammoniakconcentratie $P=0,116$).



Figuur 3.7 Het reductiepercentage voor NH₃ als functie van (a) pH, (b) het ventilatiedebiet en (c) de NH₃ concentratie in de stal.

Fijnstof

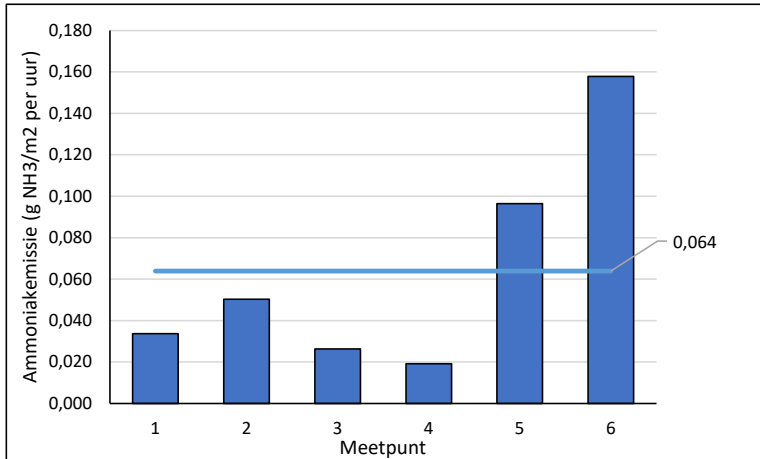
In figuur 3.8 worden de reductiepercentages van fijnstof weergegeven als functie van het ventilatiedebiet en de fijnstofconcentratie in de stal. Omdat het slechts gaat om zes waarnemingen van één locatie moet deze verkenning naar invloedsfactoren op de effectiviteit van de techniek met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. Het algemene beeld uit figuur 3.8 is dat van een reductiepercentage dat niet wordt beïnvloed door de PM_{10} concentratie in de stal ($P=0,532$). De emissiereductie lijkt wel te stijgen bij een hoger ventilatiedebiet. Deze factor is statistisch significant verschillend ($P=0,004$).



Figuur 3.8 Het reductiepercentage voor PM_{10} als functie van (a) het ventilatiedebiet en (b) de PM_{10} concentratie in de stal.

3.6 Emissie overdekte uitloop

In de overdekte uitloop zijn metingen gedaan met behulp van de gesloten box methode. In figuur 3.9 zijn de resultaten hiervan weergegeven. Hieruit blijkt dat de gemiddelde emissie van ammoniak uit de overdekte uitloop 0,064 g NH₃/m² per uur is. Dit komt neer op een ammoniakemissie van 11,9 g NH₃/dierplaats per jaar vanuit het strooisel van de overdekte uitloop. Omdat dit slechts een enkele meting aan het einde van de productieperiode is geweest en tussen de meetpunten al veel variatie bestaat geeft deze waarde slechts een indicatie. Lucht uit de overdekte uitloop kan de stal verlaten via het windbreekgaas naar de buitenlucht waarmee een extra emissiepunt ontstaat. De stal werd echter geventileerd met een lichte onderdruk waardoor verwacht wordt dat een groot gedeelte van de emissie uit de overdekte uitloop naar de stal en vervolgens de ECO Units wordt gebracht.



Figuur 3.9 De ammoniakemissie vanuit het strooisel in de overdekte uitloop, gemeten op 05-07-2021 op zes verschillende meetpunten.

4 Discussie

Van de acht uitgevoerde metingen voor fijnstof worden twee metingen als mislukt beschouwd, namelijk meting 1 en meting 7. Van de zeven uitgevoerde ammoniakmetingen wordt alleen meting 1 als mislukt beschouwd.

Tijdens meting 1 bleken verschillende stalconcentraties (zowel ammoniak als fijnstof) lager te zijn dan concentraties na de middelste ECO Unit. Op het afzuigpunt in de stal van de middelste ECO Unit is tijdens meting 1 2,36 en 2,41 ppm gemeten. Na de ECO Unit is 3,24 en 7,57 ppm ammoniak gemeten. De fijnstofconcentratie was respectievelijk 1,38 en 2,08 mg/m³ voor en na de ECO Unit. Bij ECO Unit 1 zijn tijdens meting 1 wel hogere waarden gemeten in de stal dan na de ECO Unit. Technisch gezien kan er vrijwel nooit meer ammoniak en fijnstof aanwezig zijn na de ECO Unit dan voor de ECO Unit. Een verklaring voor de afwijkende waarden bij de middelste ECO Unit is niet gevonden. Mogelijk was de middelste ECO Unit niet goed in werking. Ook is het mogelijk dat er tijdens de meting iets fout is gegaan, het grote verschil in de dublo meetwaarden na de ECO Unit zou hierop kunnen duiden. Vanwege deze onduidelijkheid en de afwijkende waarde ten opzichte van de andere metingen (zie ook figuur 3.7b) is besloten deze waarnemingen niet mee te nemen in de resultaten.

Na de eerste twee metingen was het vermoeden dat er vocht in de leidingen zat bij de meetpunten bij beide ECO Units. Omdat dit een effect kan hebben op de ammoniakconcentratie zijn vanaf de derde meting de gaswasflessen dichtbij het meetpunt geplaatst waardoor de leiding korter is. Ook werd deze leiding doorgespoeld om eventueel ammoniak in deze leiding mee te nemen. Er is geen effect van deze aanpassing gezien in de meetresultaten.

Tijdens meting 7 zijn verschillende stofpompen gedurende de meting uitgevallen, waardoor niet voldoende meetgegevens bekend zijn om de fijnstofemissie te bepalen op deze meetdag, de gepresenteerde waarden zijn gebaseerd op de tijd dat de stofpompen wel hebben gelopen.

Tijdens meting 3 is één stofpomp uitgevallen waardoor er slechts een gedeelte van de meetperiode gemeten is aan de fijnstofconcentratie van de lucht die ECO Unit 2 verlaat. Tijdens meting 6 zijn enkele beladen stoffilters gevallen, waardoor een gedeelte van het verzamelde stof van de filters in de petrischaaltjes is gevallen. Dit stof is echter verzameld uit de petrischaaltjes en meegewogen. De resultaten hiervan lagen in de lijn van de verwachting, daarom is geen reden gezien om deze resultaten niet te gebruiken. Als we deze resultaten niet zouden meenemen in de berekeningen zou de gemiddelde fijnstofemissie 46,9 in plaats van 46,2 g PM₁₀/dier per jaar zijn voor de stal en 19,5 in plaats van 20,1 g PM₁₀/dier per jaar nadat de lucht de ECO Units is gepasseerd. De totale reductie komt dan neer op 58% in plaats van 56%.

Tijdens metingen 3 en 4 zijn binnen de duplometingen voor ammoniak op één meetpunt verschillen gezien van meer dan 2 ppm. Dit verschil is groter dan verwacht mag worden van een meting op hetzelfde meetpunt. Een oorzaak hiervoor is niet gevonden. Als van deze duplometingen de meest afwijkende waarneming binnen de gehele serie van metingen wordt verwijderd, zou de gemiddelde ammoniakemissie 0,078 in plaats van 0,076 kg NH₃/dierplaats per jaar zijn voor de stal. De emissie nadat de lucht door de ECO Units is gegaan verandert niet. De totale reductie verandert eveneens niet, deze blijft 77%. De ammoniakconcentratie van ECO Unit 2 was tijdens meting 7 0,20 ppm hoger nadat de lucht door de ECO Unit is geweest. Technisch is deze meting goed verlopen, een andere verklaring voor deze afwijkende waarneming is ook niet gevonden. Als de meetresultaten van ECO Unit 2 tijdens meting 7 worden verwijderd, zou de gemiddelde ammoniakemissie voor de stal niet veranderen. De emissie nadat de lucht door de ECO Units is gegaan verandert wel en gaat van 0,018 naar 0,016 kg NH₃/dierplaats per jaar. De totale reductie verandert hierdoor van 77 naar 78%.

De ammoniakemissie van 0,076 kg NH₃/dierplaats per jaar beschreven in dit rapport is lager dan de 0,129 kg NH₃/dierplaats per jaar beschreven in Winkel et al. (2009). Dit verschil wordt zeer waarschijnlijk verklaard door het verschil in mestbandbeluchting. In Winkel et al. (2009) waren twee van de vier bemeten stallen uitgevoerd met een mestbandbeluchting van 0,2 m³/dier per uur. Terwijl de ECO Units de totale minimumventilatie van 1 m³/dier per uur over de mestband blazen. Dit zal voor een betere droging en

daardoor lagere ammoniakproductie zorgen. De ammoniakemissie beschreven in dit rapport is hoger dan de emissiefactor voor dit stalsysteem beschreven in de RAV-lijst (0,025 kg NH₃ /dierplaats per jaar). Volgens het rapport 'Actualisering ammoniak emissiefactoren pluimvee' zijn de waarden voor volièresystemen in de RAV-lijst echter te laag ingeschat (Ellen et al., 2017). Het vergelijken met de in dit rapport beschreven stal met waarden uit de RAV-lijst is daarom niet relevant.

De gemeten ammoniakreductie van 77% is vergelijkbaar met verschillende luchtwassers beschreven in Ellen et al. (2017). Dit zijn echter luchtwassers waarbij de pH onder de 3 of 4 blijft. De pH in de ECO Units is ingesteld op 5 en is gemiddeld 4,2 geweest tijdens de metingen. De pH lijkt ook geen effect te hebben gehad op de ammoniakreductie.

Nadat de lucht uit de stal de ECO Units is gepasseerd blijft er 20,9 g PM₁₀/dier per jaar aan fijnstof over. Dit is een reductie van 56% t.o.v. de emissie uit de stal. Deze reductie is lager dan de 70% reductie in een vergelijkbare warmtewisselaar in Ellen et al. (2013). Een verklaring voor dit lagere percentage is niet gevonden.

De in dit rapport bemeeten stal heeft een gemiddelde fijnstofemissie van 46,2 g PM₁₀/dier per jaar. Dit is lager dan de 64,6 g PM₁₀/dier per jaar gevonden in Winkel et al. (2009). Dit zou verklaard kunnen worden door een lager ventilatiedebiet in warme periodes (waardoor minder stof de stal verlaat; dit effect is echter tegenovergesteld in koude periodes) en de luchtinlaat via een slang in de nok in plaats van inlaatventielen. Deze manier van luchtinbreng heeft mogelijk een lagere luchtsnelheid over het strooisel tot gevolg waardoor er minder fijnstof de lucht in komt.

In de stal was een strooiselschuif aanwezig, deze kan voor een reductie van 20% voor ammoniak en fijnstof zorgen. Deze strooiselschuif is echter gedurende de gehele meetperiode niet in werking geweest, wel is enkele keren handmatig een gedeelte van de strooisellaag verwijderd, zoals ook gebruikelijk in de praktijk bij volièrehuisvesting.

De ECO Units zijn voorzien van meetventilatoren op de uitgaande luchtstroom, zodat het debiet door de ECO Units nauwkeurig kan worden bepaald. De meetventilatoren waren kleiner dan de buizen waarin deze geplaatst zijn. De buizen waarin de meetventilatoren zijn geïnstalleerd, zijn van voldoende lengte om een laminaire luchtstroom te verwachten. Voordat de metingen zijn begonnen is een ijklijn bepaald voor deze meetventilatoren (zie bijlage 3). Hierbij is op drie punten van de dwarsdoorsnede van de buis de luchtsnelheid gemeten. Deze ijklijn in combinatie met de verwachte laminaire flow geeft een betrouwbare inschatting van het ventilatiedebiet. Voor een volgend onderzoek heeft het echter de voorkeur een meetventilator met dezelfde diameter als de buis waarin deze gemonteerd is te gebruiken of extern een ijklijn te laten maken voor de buis inclusief meetventilator. Dit omdat uit bijlage 3 blijkt dat de luchtstroom niet volledig laminair is, de luchtsnelheid stijgt naarmate er meer naar het midden van de buis wordt gemeten.

Een groot deel van de metingen is uitgevoerd tijdens dreiging van Aviaire Influenza (AI). Hierdoor hadden de kippen tijdens meting 3 t/m 8 geen toegang tot de vrije uitloop. 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; Maffia et al., 2021). Doordat de kippen veelal binnen moeten blijven kan de emissie in de stal dus tot maximaal 10% hoger zijn geweest.

De stal werd op lichte onderdruk geventileerd, waardoor verwacht wordt dat de 11,9 g NH₃/dierplaats per jaar vanuit het strooisel in de overdekte uitloop de stal in trekt en vervolgens via de ECO Units de stal verlaat. Een gedeelte van de emissies kan echter via de uitloop luiken (onderaan de platen van geperforeerd damwand) naar buiten zijn getrokken, dit is echter alleen het geval bij meting 1 en 2, hierna zijn vanwege AI de vrije uitloop luiken dicht gebleven. Tijdens de metingen is de geperforeerde damwandplaat in de overdekte uitloop afgesloten met een zeil om de luchtstroom hierdoor te blokkeren. Het is niet duidelijk wat het effect zou zijn geweest als de geperforeerde damwandplaten en uitloopluiken altijd open zouden staan. Er zijn nog niet eerder metingen verricht om de emissie uit een overdekte uitloop vast te stellen. Hierdoor is niet bekend wat het effect is van het tijdelijk afsluiten van de open luchtdoorlaat vanuit de overdekte uitloop naar buiten op de vorming van ammoniak in de strooiselmest in deze ruimte. Inschatting is echter dat dit

slechts gering is vanwege de korte tijd dat dit plaatsvindt in verhouding tot de processen die ten grondslag liggen aan deze vorming. Voor de totale emissie uit een stal met een overdekte uitloop is het effect daardoor waarschijnlijk verwaarloosbaar. Wel zal er een verschuiving plaatsvinden in emissiepunten, omdat er ook emissie vrijkomt via de zijgevel van de overdekte uitloop vanwege windinvloeden. Stallen geventileerd op onderdruk zullen een groter aandeel van de vrijkomende emissie in de overdekte uitloop de stal in trekken, stallen met een lichte onderdruk of gelijkdruk zullen dit relatief minder doen. In de berekeningen voor de geurbelasting op de omgeving van de stal is hiermee al rekening gehouden door de gehele oppervlakte van de zijgevel van de overdekte uitloop aan te merken als (extra) emissiepunt.

In het meest extreme geval kan alle gevormde ammoniak vanuit de overdekte uitloop via de open constructie van de zijgevel naar buiten gaan. Voor de bemeten situatie is dat maximaal (afgerond) 12 g/dierplaats per jaar. Deze emissie gaat dan niet via de ECO Units, waardoor de emissie ingaand in deze techniek afneemt van gemiddeld 76 naar 64 gram. Uitgaande van een gelijkblijvend verwijderingsrendement voor ammoniak van de ECO Units van de gemeten 77%, blijft er een emissie over uit de ECO Units van 15 g/dierplaats per jaar. Samen met de rechtstreekse emissie uit de overdekte uitloop van 12 g, wordt de totale emissie uit de stal daarmee 27 g/dierplaats per jaar.

5 Conclusie

In dit onderzoek naar de emissie uit de ECO Zero stal met ECO Units zijn de volgende emissiewaarden gekomen:

- Ammoniakemissie:
 - Stal: 0,076 ($\pm$ 0,028) kg NH₃/dierplaats per jaar
 - Na ECO Units: 0,018 ($\pm$ 0,014) kg NH₃/dierplaats per jaar
- Fijnstofemissie:
 - Stal: 46 ($\pm$ 10) g PM₁₀/dier per jaar (zonder correctie*: 55 $\pm$ 12)
 - Na ECO Units: 20 ($\pm$ 5) g PM₁₀/dier per jaar (zonder correctie*: 23 $\pm$ 6)

Uit deze waarden komt een ammoniakreductie van 77% en een fijnstofreductie van 56% door de ECO Units.

* De correctiefactor wordt tot nu toe toegepast bij het opnemen van emissiecijfers in de RAV. Deze correctiefactor is volgens Winkel et al. (2015) echter niet nodig. Daarom wordt in de conclusie tussen haakjes de waarde zonder toegepaste correctie weergegeven.

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. Emissiemetingen stalsystemen met Agro Clima Unit (ECN-E-10-087, september 2010).
- Ellen, H. H., Groenestein, C. M., & Ogink, N. W. M. (2017). Actualisering ammoniak emissiefactoren pluimvee: advies voor aanpassing van ammoniak emissiefactoren van pluimvee in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) (No. 1015). Wageningen UR Livestock Research.
- Ellen, H. H., Mosquera Losada, J., Hol, J. M. G., Nijeboer, G. M., Ploegaert, J. P. M., & Ogink, N. W. M. (2013). Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een warmtewisselaar op vleeskuikenbedrijven (No. 621). Wageningen UR Livestock Research.
- Genstat. 2018. Genstat 19th Reference Manual: Release 1. Clarendon Press, Oxford, UK.
- Goselink, Y. S. M., & Ramirez, B. C. (2019). Characterization of an Air-to-Air Heat Exchanger for Manure Belt Drying Ventilation in an Aviary Laying Hen House. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(4), 1359-1369.
- Maffia, J., Aarnink, A. J., Ploegaert, J. P., Dinuccio, E., Balsari, P., & Ellen, H. H. (2021). Assessing particulate matter (PM10) emissions from outdoor runs in laying hen houses by integrating wind tunnel and lab-scale measurements. *Biosystems Engineering*, 210, 1-12.
- Mosquera Losada, J., Kasper, G. J., Blanken, K., Dousma, F., & Aarnink, A. J. A. (2010). Ontwikkeling snelle meetmethode ter bepaling van ammoniakemissiereductie van vloergebonden maatregelen = Development of a fast measurement method for the determination of ammonia emission reduction from floor related measures.
- Mosquera Losada, 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.
- Ogink, N. W. M., Mosquera, J., Hol, & J. M. G., 2017. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a. Wageningen Livestock Research, Rapport 1032.
- 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.
- VERA, 2018. Vera test protocol for livestock housing and management systems. Version 3:2018-09. Delft, the Netherlands: International VERA Secretariat.
- Winkel, A., Mosquera, J., Hol, J. M. G., Nijeboer, G. M., Ogink, N. W. M., & Aarnink, A. J. A. (2009). Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in volièrehuisvesting = Dust emission from animal houses: layer hens in aviary systems (No. 278). Wageningen UR Livestock Research.
- 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, omgeving en meetpunten

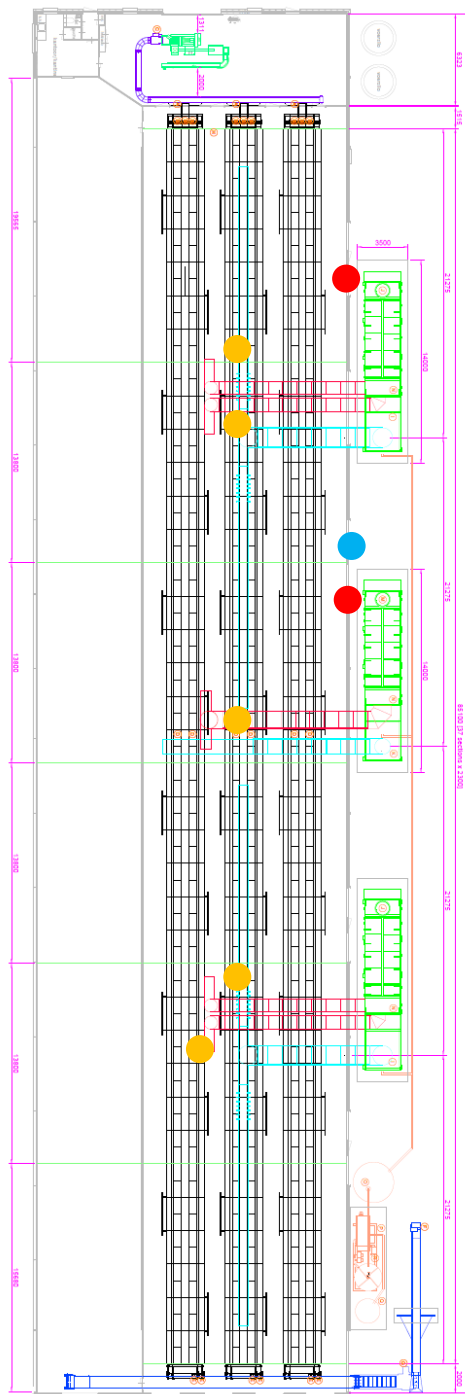
Kenmerk	Beschrijving
<i>Stal</i>	
Bouwjaar	2018
Rav code en omschrijving	Proefstalstatus (0,010 kg NH ₃ /dierplaats per jaar)
Emissiefactor	Nog onbekend
Afmetingen (l × b × h _{goot} /h _{nok})	95 x 21 x 3 / 7,3 m (incl. eierlokaal en overdekte uitloop)
Oriëntatie van de stal	West (voorgevel) – Oost (achtergevel)
<i>Dieren</i>	
Aantal dieren bij opzet	26.655
Bezettingsgraad bij opzet	Ca. 14,5 dieren per m ² vloeroppervlak (incl. overdekte uitloop); Ca. 8,5 dieren per m ² leefoppervlak (incl. overdekte uitloop)
Ras	Dekalb White
<i>Klimaatregeling</i>	
Ventilatiesysteem	ECO Units; ECO Unit 1 en 3 25.000 m ³ per uur; ECO Unit 2 23.000 m ³ per uur
Beschrijving luchtinlaat	Minimumventilatie via mestbandbeluchting en overige via inlaatslangen in de nok.
Beschrijving luchtuitlaat	Afzuiging in de nok door drie ECO Units
Ventilatieregeling	Op basis van streef staltemperatuur (22 °C).
Verwarming- en koelsysteem	ECO Unit
<i>Bedrijfsvoering</i>	
Beschrijving houderijsysteem	Drie rijen voliëre systeem met in elke rij een dubbel legnest en mestbanden op twee niveaus; vier strooiselgangen; overdekte uitloop met uitloop naar buiten aan de zuidkant
Vloerbedekking	Strooisel
Beschrijving voersysteem	18 voerlijnen (6 in elke stelling, op 3 niveaus); voergoten met sleepketting
Voer	Legmeel 1, 2 en 3
Beschrijving drinkwatersysteem	9 drinklijnen (3 in elke stelling op 2 niveaus); drinknippels met lekbakje
Strooiselmanagement	De stal werd ingestrooid met houtkrullen, de aanwezige strooiselschuif was niet in werking
Beschrijving verlichting	Multicolour Ledverlichting
Lichtregime	16L:8D (licht aan: 06:00 tot 22:00)
Schoonmaakregime	Na ruimen van de kippen wordt de strooiselmest verwijderd en de stal droog gereinigd
<i>Productiecyclus</i>	
Leeftijd bij opzet	Ca. 17 weken
Leeftijd bij ruimen	Ca. 90 weken
Leegstand tussen koppels	Ca. 2 weken



Luchtfoto bedrijf met omgeving (bedrijf aangegeven met blauwe cirkel).



Luchtfoto bedrijf met aan de noordzijde de ECO Units gepositioneerd. Aan de zuidzijde is de overdekte uitloop en toegang tot de buitenuitloop.

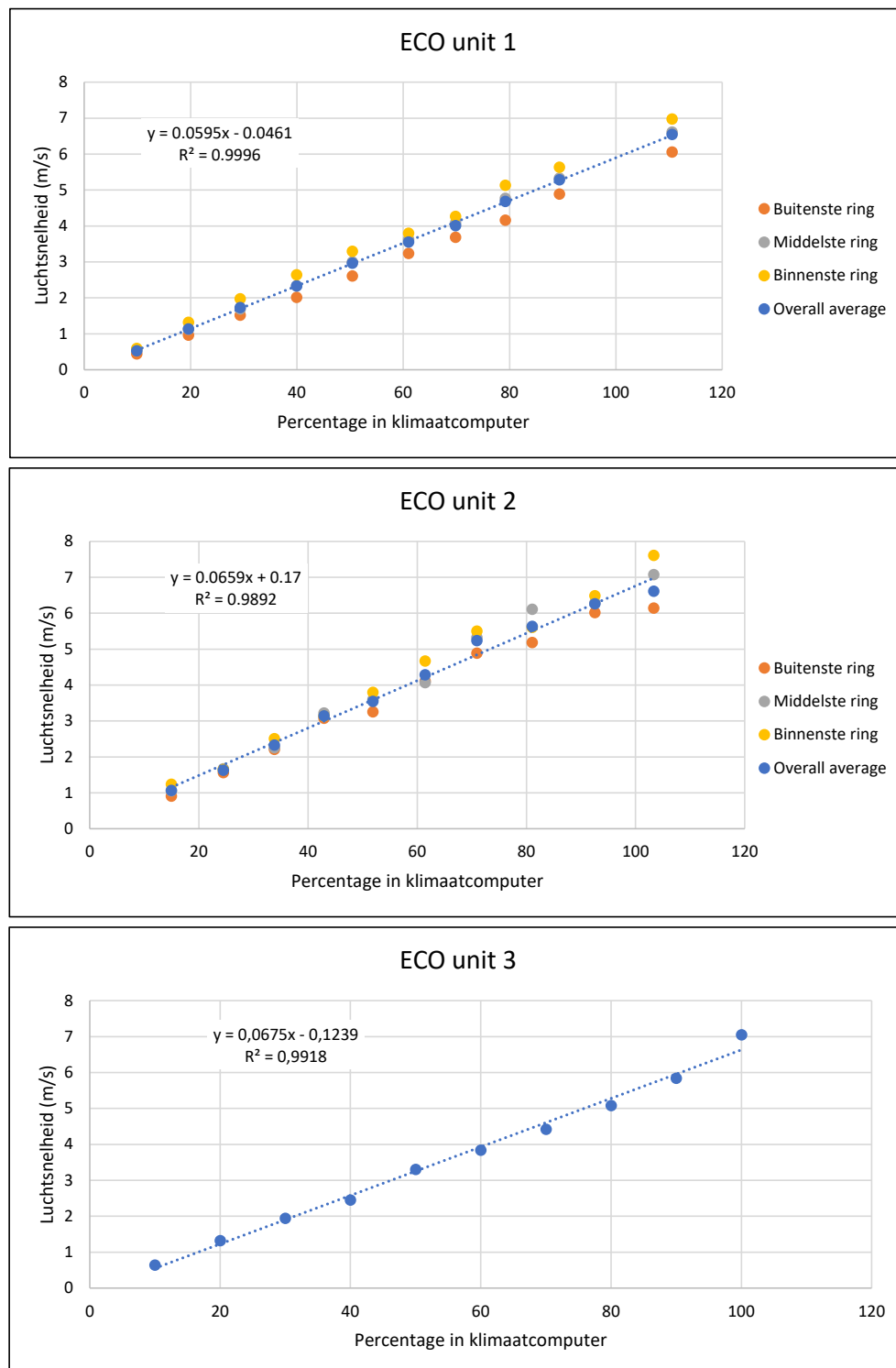


Plattegrond van de stal, waarin met stippen de verschillende meetplekken aangegeven. In geel de meetpunten in de stal, rood de meetpunten in de ECO Units en in blauw de achtergrondconcentratie.

Bijlage 2 Landbouwkundige randvoorwaarden

Onderdeel	Landbouwkundige randvoorwaarde:	Voldoet
Huisvesting	Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen.	Ja
	Vóór de meetperiode moet de stal minstens twee maanden gebruikt zijn voor de huisvesting van legkippen.	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. Waterversprekking gebeurt onbeperkt.	Ja
	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
Productie	De eiproduktie 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 produktieperiode.	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)	Gedeeltelijk, geen afwijkingen van de standaard gevonden
	Tijdens de meting: - produktie: aantal eieren, eigewicht en uitval - voeropname - tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de afdeling/stal - registratie van voersamenstelling - CO₂-concentratie - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen	Ja

Bijlage 3 IJklijnen meetventilatoren



IJklijnen van de drie ECO Units, met op de x-as het percentage dat gelogd wordt in de klimaatcomputer en op de y-as de luchtsnelheid vlak voor de meetventilator. Voor de berekening van het ventilatiedebiet werd het percentage gelogd door de klimaatcomputer vermenigvuldigd met de formule zichtbaar in de drie grafieken. Vervolgens werd dit getal vermenigvuldigd met de oppervlakte van de buizen ($2 \times 0,528 \text{ m}^2$ voor ECO Unit 1 en 3 en $0,985 \text{ m}^2$ voor ECO Unit 2) en omgerekend van m^3/s naar m^3/uur . Voor ECO Unit 1 en 2 zijn ook de punten binnenste ring, middelste ring en buitenste ring toegevoegd die samen het overall average maken. Hieruit blijkt dat de luchtsnelheid in de buitenste ring lager is dan in de binnenste ring.

Bijlage 4 Meetresultaten

In de onderstaande tabel zijn alle meetresultaten opgenomen voor ammoniak en fijnstof (met correctiefactor).

Meting	Locatie	PM10-concentratie (mg/m3)	NH3 concentratie (ppm)	Ventilatie m3/h	Emissie PM10 g/dier/jaar **	Emissie NH3 g/dierplaats/jaar **
1	Stal voor 1	5,00	4,16	18007	28,17	16,11
	Stal voor 1		4,10	18007		15,89
	Stal voor 2	4,83	5,68	18007	27,20	22,15
	Stal voor 2		5,81	18007		22,67
	Stal midden	1,38	2,36	14598	6,24	7,28
	Stal midden		2,41	14598		7,42
	Stal achter 1	4,04	4,06	20156	25,47	17,57
	Stal achter 1		3,90	20156		16,88
	Stal achter 2	4,43	6,15	20156	27,91	26,91
	Stal achter 2		6,19	20156		27,07
	ECO Unit voor	3,06	1,66	18007	17,23	6,19
	ECO Unit voor		1,59	18007		5,89
	ECO Unit midden	2,08	3,24	14598	9,48	10,09
	ECO Unit midden		7,57	14598		24,05
	ECO Unit achter*	2,64	1,71	20156	16,61	7,13
	ECO Unit achter*		1,63	20156		6,79
	Achtergrond	0,01	0,10			
	Achtergrond		0,11			
	Totaal stal				60,61	48,66
	Totaal ECO Units				43,32	30,07
	Reductie ECO Unit voor				38%	69%
	Reductie ECO Unit midden				-52%	-132%
	Reductie ECO Units				29%	38%
Meting	Locatie	PM10-concentratie (mg/m3)	NH3 concentratie (ppm)	Ventilatie m3/h	Emissie PM10 g/dier/jaar **	Emissie NH3 g/dierplaats/jaar **
2	Stal voor 1	3,01	4,37	19815	18,51	18,79
	Stal voor 1		4,43	19815		19,06
	Stal voor 2	2,73	4,16	19815	16,74	17,90
	Stal voor 2		4,22	19815		18,14
	Stal midden	2,34	1,88	16610	12,01	6,63
	Stal midden		1,98	16610		7,02
	Stal achter 1	2,92	2,26	22207	20,07	10,73
	Stal achter 1		2,28	22207		10,81
	Stal achter 2	3,24	3,07	22207	22,33	14,72
	Stal achter 2		3,10	22207		14,85
	ECO Unit voor	0,63	2,16	19815	3,65	9,15
	ECO Unit voor		0,94	19815		3,80
	ECO Unit midden	1,16	0,85	16610	5,85	2,85
	ECO Unit midden		0,15	16610		0,30
	ECO Unit achter*	0,67	1,35	22207	4,41	6,27
	ECO Unit achter*		0,58	22207		2,53
	Achtergrond	0,04	0,07			
	Achtergrond		0,06			
	Totaal stal				50,84	38,08
	Totaal ECO Units				13,91	12,46
	Reductie ECO Unit voor				79%	65%
	Reductie ECO Unit midden				51%	77%
	Reductie ECO Units				73%	67%
Meting	Locatie	PM10-concentratie (mg/m3)	NH3 concentratie (ppm)	Ventilatie m3/h	Emissie PM10 g/dier/jaar **	Emissie NH3 g/dierplaats/jaar **
3	Stal voor 1	2,58	17,71	12167	9,86	47,29
	Stal voor 1		16,03	12167		42,80
	Stal voor 2	2,30	16,16	12167	8,78	43,15
	Stal voor 2		16,14	12167		43,10
	Stal midden	2,00	10,13	11690	7,32	25,90
	Stal midden		10,01	11690		25,59
	Stal achter 1	2,41	11,17	13530	10,22	33,09
	Stal achter 1		10,26	13530		30,37
	Stal achter 2	3,06	11,32	13530	13,01	33,54
	Stal achter 2		5,47	13530		16,08
	ECO Unit voor	1,40	2,14	12167	5,32	5,50
	ECO Unit voor		2,50	12167		6,48
	ECO Unit midden	1,53	0,98	11690	5,59	2,31
	ECO Unit midden		1,22	11690		2,92
	ECO Unit achter*	1,57	1,24	13530	6,63	3,43
	ECO Unit achter*		1,45	13530		4,06
	Achtergrond	0,02	0,09			
	Achtergrond		0,09			
	Totaal stal				28,25	98,10
	Totaal ECO Units				17,54	12,35
	Reductie ECO Unit voor				43%	86%
	Reductie ECO Unit midden				24%	90%
	Reductie ECO Units				38%	87%

	Locatie	PM10-concentratie (mg/m3)	NH3 concentratie (ppm)	Ventilatie m3/h	Emissie PM10 g/dier/jaar **	Emissie NH3 g/dierplaats/jaar **
4	Stal voor 1	4,64	17,46	11309	16,51	43,35
	Stal voor 1		11,47	11309		28,40
	Stal voor 2	4,54	21,46	11309	16,18	53,32
	Stal voor 2		20,59	11309		51,16
	Stal midden	3,82	12,43	12000	14,41	32,68
	Stal midden		12,55	12000		32,99
	Stal achter 1	4,25	11,18	12558	16,81	30,74
	Stal achter 1		11,11	12558		30,53
	Stal achter 2	5,02	12,42	12558	19,85	34,17
	Stal achter 2		12,59	12558		34,64
	ECO Unit voor	2,47	2,70	11309	8,74	6,52
	ECO Unit voor		2,69	11309		6,49
	ECO Unit midden	2,15	0,56	12000	8,06	1,25
	ECO Unit midden		0,93	12000		2,24
	ECO Unit achter*	2,49	1,80	12558	9,80	4,74
	ECO Unit achter*		1,79	12558		4,72
	Achtergrond	0,03	0,09			
	Achtergrond		0,09			
	Totaal stal				49,08	109,41
	Totaal ECO Units				26,59	12,98
5	Stal voor 1	5,56	7,68	10866	19,10	18,18
	Stal voor 1		8,79	10866		20,85
	Stal voor 2	4,64	10,42	10866	15,93	24,75
	Stal voor 2		10,35	10866		24,57
	Stal midden	3,54	8,19	12120	13,51	21,64
	Stal midden		8,15	12120		21,54
	Stal achter 1	4,26	10,88	12054	16,20	28,67
	Stal achter 1		11,39	12054		30,03
	Stal achter 2	3,84	13,19	12054	14,58	34,84
	Stal achter 2		13,70	12054		36,17
	ECO Unit voor	2,74	0,66	10866	9,34	1,34
	ECO Unit voor		0,44	10866		0,83
	ECO Unit midden	1,67	0,98	12120	6,29	2,37
	ECO Unit midden		0,40	12120		0,80
	ECO Unit achter*	2,17	0,87	12054	8,19	2,04
	ECO Unit achter*		0,59	12054		1,30
	Achtergrond	0,04	0,10			
	Achtergrond		0,09			
	Totaal stal				46,42	76,11
	Totaal ECO Units				23,82	4,34
6	Stal voor 1	5,38	6,12	10378	17,90	13,73
	Stal voor 1		5,04	10378		11,26
	Stal voor 2	4,79	7,57	10378	15,95	17,05
	Stal voor 2		8,05	10378		18,15
	Stal midden	2,27	5,90	10651	7,72	13,56
	Stal midden		5,32	10651		12,21
	Stal achter 1	5,19	9,14	11501	19,17	22,87
	Stal achter 1		7,76	11501		19,36
	Stal achter 2	4,58	9,03	11501	16,88	22,59
	Stal achter 2		8,82	11501		22,06
	ECO Unit voor	2,15	2,82	10378	7,14	6,17
	ECO Unit voor		2,76	10378		6,03
	ECO Unit midden	2,42	2,78	10651	8,23	6,23
	ECO Unit midden		2,61	10651		5,83
	ECO Unit achter*	2,07	3,65	11501	7,61	8,96
	ECO Unit achter*		3,58	11501		8,76
	Achtergrond	0,02	0,12			
	Achtergrond		0,13			
	Totaal stal				42,66	49,65
	Totaal ECO Units				22,98	20,98
	Reductie ECO Unit voor				58%	59%
	Reductie ECO Unit midden				-7%	53%
	Reductie ECO Units				46%	58%

	Locatie	PM10-concentratie (mg/m3)	NH3 concentratie (ppm)	Ventilatie m3/h	Emissie PM10 g/dier/jaar **	Emissie NH3 g/dierplaats/jaar **
7	Stal voor 1	4,34	6,56	19676	27,57	28,09
	Stal voor 1		5,58	19676		23,84
	Stal voor 2	1,97	9,06	19676	12,35	38,96
	Stal voor 2		9,77	19676		42,02
	Stal midden	3,16	4,85	18063	18,35	18,98
	Stal midden		4,67	18063		18,25
	Stal achter 1	5,38	5,54	22050	38,33	26,52
	Stal achter 1		5,77	22050		27,63
	Stal achter 2	5,29	8,69	22050	37,70	41,87
	Stal achter 2		9,01	22050		43,43
	ECO Unit voor	1,56	2,82	19676	9,72	11,84
	ECO Unit voor		2,71	19676		11,36
	ECO Unit midden	0,87	4,77	18063	4,86	18,66
	ECO Unit midden		5,15	18063		20,17
	ECO Unit achter*	2,63	2,64	22050	18,61	12,41
	ECO Unit achter*		2,53	22050		11,90
	Achtergrond	0,04	0,09			
	Achtergrond		0,09			
	Totaal stal				76,33	86,70
	Totaal ECO Units				33,19	43,17
8	Reductie ECO Unit voor				51%	65%
	Reductie ECO Unit midden				74%	-4%
	Totale reductie				57%	50%
	Locatie	PM10-concentratie (mg/m3)	NH3 concentratie (ppm)	Ventilatie m3/h	Emissie PM10 g/dier/jaar **	Emissie NH3 g/dierplaats/jaar **
	Stal voor 1	3,62		18772	22,12	
	Stal voor 1			18772		
	Stal voor 2	1,76		18772	10,69	
	Stal voor 2			18772		
8	Stal midden	3,17		17977	18,54	
	Stal midden			17977		
	Stal achter 1	3,70		21024	25,33	
	Stal achter 1			21024		
	Stal achter 2	3,58		21024	24,50	
	Stal achter 2			21024		
	ECO Unit voor	0,81		18772	4,84	
	ECO Unit voor			18772		
	ECO Unit midden	0,63		17977	3,59	
	ECO Unit midden			17977		
	ECO Unit achter*	1,09		21024	7,39	
	ECO Unit achter*			21024		
	Achtergrond	0,02				
	Achtergrond					
	Totaal stal				59,86	
	Totaal ECO Units				15,82	
	Reductie ECO Unit voor				70%	
	Reductie ECO Unit midden				81%	
	Totale reductie				74%	

* Berekende waardes

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.

