



# Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen: ASPRA Agro van VFA-Solutions/Smits Agro

Hilko Ellen, Yvo Goselink, Jos Huis in 't Veld, Albert Winkel

Openbaar

Rapport 1245



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---

# Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen: ASPRA Agro van VFA-Solutions/Smits Agro

Hilko Ellen, Yvo Goselink, Jos Huis in 't Veld, Albert Winkel

Wageningen Livestock Research  
Wageningen, juni 2021

---

Openbaar  
Rapport 1245



---

Ellen, H., Y. Goselink, J. Huis in 't Veld, A. Winkel, 2020. *Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen*: ASPRA Agro van VFA-Solutions/Smits-Breda. Wageningen Livestock Research, Rapport 1245.

#### Samenvatting

Om de blootstelling aan fijnstof in veehouderijgebieden te verlagen zijn technieken nodig die de emissie uit pluimveestallen kunnen verminderen. In deze pilot zijn metingen verricht aan de ASPRA Agro van de firma's VFA-Solutions/Smits-Breda, geïnstalleerd in een leghennenstal. In afwijking van de meetprotocollen is er in de zogenaamde "fijnstof pilots" aan één (in plaats van twee) bedrijfslocaties gemeten. Uit de metingen blijkt dat het systeem de emissie van fijnstof (PM<sub>10</sub>) met gemiddeld 35% vermindert.

#### Summary

To mitigate the concentrations of fine particulate matter in livestock farming areas, techniques are needed which reduce emissions from poultry barns. In this pilot study, measurements were carried out on the ASPRA Agro of the companies VFA-Solutions/Smits-Breda, installed inside a layer barn. In deviation from the measurement protocols, the so called "fine dust pilots" included one (instead of two) farm locations. The measurements show that the system reduces the emission of fine particulate matter (PM<sub>10</sub>) with an average of 35%.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/548315> of op [www.wur.nl/livestock-research](http://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, 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.

Foto voorkant: Smits Agro

Wageningen Livestock Research Rapport 1245

---

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
	1.1 Wetenschappelijke probleembeschrijving	9
	1.2 Aanleiding	9
	1.3 Afbakening en doelstelling	10
	1.4 Opzet rapport	10
<b>2</b>	<b>Materiaal en methoden</b>	<b>11</b>
	2.1 Beschrijving techniek en werkingsprincipe	11
	2.2 Beschrijving stal en bedrijfssituatie	12
	2.3 Meetstrategie	12
	2.4 Meetmethoden	14
	2.4.1 Fijnstof (PM <sub>10</sub> )	14
	2.4.2 Koolstofdioxide (CO <sub>2</sub> ) t.b.v. het ventilatiedebiet	15
	2.4.3 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	15
	2.4.4 Productiegegevens	16
	2.5 Dataverwerking en analyse	16
	2.5.1 Berekening ventilatiedebiet	16
	2.5.2 Berekening fijnstofemissie	16
	2.5.3 Berekening eindreductiepercentage fijnstofemissie met bandbreedte	17
	2.5.4 Statistische analyses	17
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>19</b>
	3.1 Meetomstandigheden	19
	3.2 CO <sub>2</sub> -concentratie en ventilatiedebiet	22
	3.3 Concentratie, emissie en reductie PM <sub>10</sub>	23
	3.4 Metingen tijdens aan- en afwezigheid dieren in binnentuin	25
<b>4</b>	<b>Discussie</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>Conclusie</b>	<b>33</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>34</b>
	<b>Bijlage 1 Beschrijving stal</b>	<b>36</b>
	<b>Bijlage 2 Landbouwkundige voorwaarden</b>	<b>43</b>
	<b>Bijlage 3 Overzicht alle meetdata</b>	<b>44</b>
	<b>Bijlage 4 Resultaten continue metingen</b>	<b>45</b>
	<b>Bijlage 5 Bepaling correctiefactor voor DustTrak model 8530</b>	<b>48</b>
	<b>Bijlage 6 Kalibratie meetapparatuur</b>	<b>49</b>
	<b>Bijlage 7 Foto's effect nevelkoeling</b>	<b>50</b>
	<b>Bijlage 8 Concept BWL-beschrijving</b>	<b>51</b>



---

# Woord vooraf

In de zoektocht voor pluimveebedrijven naar de mogelijkheden om de emissie van fijnstof ( $PM_{10}$ ) uit stallen terug te dringen is in de Regio Foodvalley een project bestaande uit een achttal pilots gestart. In de pilots kregen leveranciers van nieuwe technieken of stalsystemen de mogelijkheid om metingen te laten uitvoeren naar de effectiviteit daarvan. De pilots werden uitgevoerd onder de verantwoordelijkheid en organisatie van het Praktijkcentrum Emissiereductie Veehouderij (PEV). Pluimveehouders stelden voor de pilots hun stal beschikbaar als proeflocatie. Wageningen Livestock Research, tenslotte, leverde de wetenschappelijke kennis rondom veehouderijemissies en reductietechnieken, en voerde de metingen in de proefstallen uit. In dit rapport zijn de resultaten van de metingen aan een van de door het PEV geselecteerde technieken weergegeven. We willen de medewerkers van het PEV, het projectteam, de leverancier en de pluimveehouder bedanken voor de fijne en constructieve samenwerking bij de uitvoering van de metingen.

De auteurs.



---

# Samenvatting

## *Aanleiding en doel*

In sommige gebieden in Nederland, zoals in de Foodvalley regio, vormen pluimveestallen een belangrijke emissiebron van fijnstofdeeltjes ( $PM_{10}$ ) in de buitenlucht die geassocieerd worden met gezondheidseffecten bij mensen. In deze pilot is onderzocht in welke mate de ASPRA Agro van de firma's VFA-Solutions/Smits-Breda in staat is om de emissie van fijnstof uit leghennenstallen te reduceren. Op basis van dit meetrapport kan de techniek worden opgenomen in nationale of regionale regelgeving met een (voorlopig) reductiepercentage voor fijnstof. Ondernemers in de veehouderij kunnen deze techniek vervolgens aanwenden op hun bedrijf om de belasting van de omgeving met fijnstof te verlagen.

## *Fijnstofreductiesysteem en proefstal*

De metingen zijn uitgevoerd in de Kipsterstal te Oirlo, met in totaal 24.000 leghennen. In de binnentuin waren acht ASPRA Agro's aanwezig die zorgden voor een continue interne luchtstroom. In de ASPRA Agro is een ionisatietechniek aanwezig die zorgt voor het positief laden van stofdeeltjes in de doorgaande luchtstroom. De geladen stofdeeltjes hechten zich aan de binnenkant van de metalen mantel van de Aspra Agro. Door middel van een borstel worden de stofdeeltjes iedere 36 uur verwijderd van de metalen mantel en opgevangen in bussen onderaan de ASPRA Agro. Deze bussen worden regelmatig geleegd.

## *Meetstrategie en meetmethoden*

In dit onderzoek is een zogenaamde "case-control strategie in de tijd" gehanteerd. Dit betekent dat het systeem in principe de gehele productieperiode aan stond maar dat er tijdens elke meting eerst 24 uur gemeten werd met het systeem uit (control), gevolgd door een tweede periode van 24 uur terwijl het systeem ingeschakeld was (case). Emissie reducerende technieken voor stallen worden normaliter getest volgens het meetprotocol zoals die is opgesteld in Nederland en in het internationale VERA collectief. Deze meetprotocollen zijn zo veel mogelijk gevolgd. In afwijking van de protocollen is er o.a. op één i.p.v. twee bedrijfslocaties gemeten. Geprobeerd werd de metingen gebalanceerd uit te voeren over de productieperiode en het kalenderjaar om een representatieve schatting van de reductie te verkrijgen waarbij invloeden van productiestadium en seizoen zijn meegenomen. De metingen betroffen: temperatuur en relatieve luchtvochtigheid,  $CO_2$ -concentratie (t.b.v. het berekenen van het ventilatiedebiet middels de  $CO_2$ -balansmethode) en concentratie van  $PM_{10}$ . Uit de combinatie van ventilatiedebiet en  $PM_{10}$ -concentratie is de  $PM_{10}$ -emissie berekend.

## *Resultaten*

In totaal werden zeven metingen uitgevoerd, waarvan zes gebruikt konden worden voor het bepalen van het reductiepercentage. Uit de statistische analyse bleek dat de staltemperatuur en het ventilatiedebiet niet significant verschilden tussen case- en controledagen wat duidt op een zuivere vergelijkingsbasis. De emissie van  $PM_{10}$  werd verlaagd met gemiddeld 35%.

## *Conclusie*

De ASPRA Agro van de firma's VFA-Solutions/Smits-Breda is in staat de emissie van  $PM_{10}$  in leghennenstallen te reduceren. Op grond van zes metingen in de binnentuin van één leghennenstal, waarbij de relevante meetprotocollen zoveel mogelijk zijn gevolgd, bedraagt deze reductie gemiddeld 35%. Deze reductie is statistisch significant verschillend van nul. Als de (technisch geslaagde) meting (nr. 5) waarbij een van de ASPRA Agro's mogelijk niet goed heeft gefunctioneerd buiten beschouwing wordt gelaten, bedraagt de gemiddelde reductie 43%. De techniek verwijdert stof uit een specifieke luchtstroom door de techniek (recirculatie). Daarmee is de emissiereductie afhankelijk van de verhouding tussen de mate van recirculatie en het ventilatieniveau van de stal. Voor een juiste inschatting van de prestaties van de techniek is het van belang dat er wordt gemeten bij zowel lage, gemiddelde als hoge ventilatiedebieten. In dit meettraject zijn echter alleen lage ventilatiedebieten voortgekomen, hoogstwaarschijnlijk door hoge stofbelasting van absoluutfilters (geen onderdeel van



---

de beproefde techniek) waar alle stalventilatie doorheen werd gevoerd. De resultaten in dit rapport schetsen daarmee geen representatief beeld van de prestaties van de techniek. Dit bemoeilijkt ook vertaling van de resultaten naar andere diercategorieën dan leghennen waarbij de metingen zijn uitgevoerd. Aanbevolen wordt om de in dit project verkregen dataset aan te vullen met metingen bij hogere ventilatiedebieten.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Wetenschappelijke probleembeschrijving

Fijnstof oftewel PM<sub>10</sub> is een verzamelnaam voor vaste en vloeibare deeltjes kleiner dan 10 micrometer<sup>1</sup> die zwevend in de lucht aanwezig zijn (EN 12341:2014; CEN, 2014). Na inademing kunnen deze zeer kleine deeltjes tot diep in de luchtwegen doordringen. Ze kunnen negatieve gezondheidseffecten veroorzaken, zoals een verhoogd risico op het ontstaan en verergeren van aandoeningen aan luchtwegen, longen, hart en bloedvaten. Fijnstof in de buitenlucht is verantwoordelijk voor circa 4% van de totale ziektelast. Na roken (13%) behoort luchtverontreiniging daarmee tot één van de belangrijkste risicofactoren (Gezondheidsraad, 2018). Fijnstof is afkomstig van natuurlijke bronnen (zoals bosbranden, winderosie en zeezoutdeeltjes) en van antropogene bronnen zoals het verkeer en transport, de industrie en de agrarische sector. De Europese luchtkwaliteitsrichtlijn 2008/50/EG bevat grenswaarden voor o.a. fijnstof in de buitenlucht. De daggemiddelde concentratie mag maximaal 50 µg/m<sup>3</sup> bedragen waarbij er jaarlijks maximaal 35 overschrijdingsdagen zijn toegestaan. Daarnaast mag de concentratie van fijnstof jaargemiddeld maximaal 40 µg/m<sup>3</sup> bedragen. De World Health Organization hanteert een Air Quality Guideline limiet van jaargemiddeld een aanzienlijk lagere 20 µg/m<sup>3</sup> (WHO, 2005). Er bestaat echter geen drempelwaarde voor de effecten van fijnstof, d.w.z. iedere in de lucht aanwezige microgram fijnstof is slecht voor de gezondheid.

De concentratie en samenstelling van fijnstof in de buitenlucht varieert van moment tot moment (temporele variatie) en van plek tot plek (spatiele variatie). In stedelijke gebieden kan circa tweederde van het in de buitenlucht aanwezige antropogene fijnstof afkomstig zijn van de uitstoot van verkeer en transport, terwijl in het agrarische buitengebied circa de helft van het in de lucht aanwezige antropogene fijnstof afkomstig kan zijn van stalemissies en landbouw (Hendriks et al., 2013). Stallen voor pluimvee, varkens en runderen vormen – na het verkeer en de industrie – de derde emissiebron van fijnstof in Nederland (Winkel et al., 2016). Deze deeltjes ontstaan in stallen vooral uit mest, veren, huid/haren, voer en stro(oisel) (Aarnink et al., 2011). Stalstof verschilt van stedelijk of industrieel stof doordat het van biologische origine is en rijk is aan micro-organismen en resten daarvan, zoals endotoxinen<sup>2</sup> (Winkel et al., 2014). In Nederland is in de afgelopen jaren daarom gericht onderzoek gedaan naar de gezondheid van omwonenden van veehouderijen die blootstaan aan deze deeltjes. Dit betroffen achtereenvolgens de onderzoeksprojecten “Intensieve Veehouderij en Gezondheid” (Heederik en IJzermans, 2011), “Veehouderij en Gezondheid Omwonenden” (Maassen et al., 2016), “Veehouderij en Gezondheid Omwonenden II” (Hagenaars et al., 2017), “Veehouderij en Gezondheid Omwonenden III” (IJzermans et al., 2018) en “Risicomodellering Veehouderij en Gezondheid” (Heederik et al., 2019). Uit deze onderzoeken blijkt dat de blootstelling aan stalstof en het endotoxine daarin geassocieerd is met minder atopie (gevoeligheid voor allergie). Aan de andere kant is de blootstelling geassocieerd met meer klachten en meer medicijngebruik bij omwonenden met COPD<sup>3</sup>, meer longontstekingen, meer klachten van de luchtwegen en een verlaagde longfunctie.

## 1.2 Aanleiding

In de Foodvalley regio, een regio van acht gemeenten<sup>4</sup> met samen circa 350.000 inwoners, komen relatief hoge concentraties voor van fijnstof, ammoniak (NH<sub>3</sub>) en geur door de aanwezigheid van veel veehouderijbedrijven. Naar aanleiding van de resultaten van de hiervoor genoemde onderzoeken naar de effecten van veehouderijen op de gezondheid van omwonenden zijn in de Regio Foodvalley afspraken gemaakt tussen regionale overheden en de veehouderijsector om de bijdrage van de

---

<sup>1</sup> Eén micrometer (µm) is gelijk aan één duizendste millimeter, 10 µm is gelijk aan een honderdste millimeter.

<sup>2</sup> Endotoxinen zijn celwanddelen van Gram-negatieve bacteriën die sterk ontstekingsbevorderend zijn.

<sup>3</sup> COPD: Chronic Obstructive Pulmonary Disease = Chronische Obstructieve Long Aandoeningen.

<sup>4</sup> De acht gemeenten in de Foodvalley regio zijn: Barneveld, Ede, Nijkerk, Rhenen, Renswoude, Scherpenzeel, Veenendaal en Wageningen.

---

veehouderij op de luchtkwaliteit in de regio te verminderen. Deze samenwerking is vastgelegd in het Manifest Gezonde Leefomgeving Veehouderij (GLV). De afspraken in het Manifest omvatten grofweg twee sporen:

- Bestuurlijk: optimalisatie/kansen benutten binnen vergunningverlening, scenarioberekeningen, afstemming en aanpassing regelgeving rijksoverheid.
- Praktijk: kennis verzamelen en delen over emissiereducties van technieken en stalsystemen, innovaties bevorderen en faciliteren, meetmethodes en -strategieën testen en verbeteren.

Binnen de 'praktijk-route' is het Praktijkcentrum Emissiereductie Veehouderij (PEV) opgericht waarmee de betrokkenen van het Manifest GLV versneld willen werken aan het ontwikkelen en praktijkrijp brengen van haalbare en betaalbare emissie reducerende technieken en stalsystemen die nog niet beschikbaar zijn in de Lijst Emissiefactoren fijnstof voor veehouderij (Rijksoverheid, 2018).

Hoewel het PEV zich wil richten op het verminderen van emissies van alle vormen van luchtverontreiniging uit stallen, is er in eerste instantie gekozen om de aandacht te richten op technieken die de emissie van fijnstof reduceren. Hiertoe is een traject opgestart waarbij innoverende leveranciers van technieken hun systeem aan konden melden met daarbij relevante informatie over o.a. het werkingsprincipe, het verwachte reductiepercentage en de jaarkosten voor veehouders. Via een selectieprocedure zijn acht technieken geselecteerd die op veehouderijbedrijven zijn geïnstalleerd om het effect daarvan op de emissie van PM<sub>10</sub> vast te stellen. In dit rapport wordt van één van deze technieken het resultaat van de metingen gepresenteerd.

## 1.3 Afbakening en doelstelling

Dit meetrapport bevat de resultaten van de emissiemetingen gedaan in de pilot met de ASPRA Agro van de firma's VFA-Solutions/Smits-Breda, geïnstalleerd in een leghennenstal. Emissie reducerende technieken voor stallen worden normaliter getest volgens het meetprotocol zoals die is opgesteld in Nederland (Ogink et al., 2011) en in het internationale VERA collectief (VERA, 2018a). In de pilots is op een aantal punten afgeweken van deze protocollen om met beperkte inspanningen en kosten toch een goede eerste indruk te krijgen van het reductiepotentieel van een techniek. De onzekerheden die de omissies t.a.v. de protocollen met zich meebrengen worden in de discussie van dit rapport beoordeeld. Op basis van dit meetrapport kan de techniek worden opgenomen in nationale of regionale regelgeving met een (voorlopig) reductiepercentage voor fijnstof. Ondernemers in de veehouderij kunnen deze techniek vervolgens aanwenden op hun bedrijf om de belasting van de omgeving met stalstof te verlagen.

## 1.4 Opzet rapport

Zoals gebruikelijk in een meetrapport wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op de toegepaste materialen en methoden. Daarbij wordt eerst de techniek waar de metingen zich op richtten 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 techniek en over in hoeverre de resultaten gebruikt kunnen worden voor opname in de (nationale) regelgeving. De conclusie naar aanleiding van de discussie volgt daarna in hoofdstuk 5.

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Beschrijving techniek en werkingsprincipe

De ASPRA Agro bestaat uit een ronde metalen 'buis', met daarin een ventilator, een ionisatiesysteem en een reinigingssysteem. De lucht wordt door de ventilator aangezogen en via kleine openingen in de bovenste delen van de buis weer uitgeblazen. Het ionisatiesysteem werkt op basis van een positieve spanning van 30 kV en een lage stroomsterkte van ca. 1,5 mA op korte/dunne metalen draden (corona's). Deze draden zijn geplaatst op een gebogen oppervlak binnenin de buis. De positieve spanning zorgt voor het vrijkomen van ionen die stofdeeltjes in de aangezogen lucht een positieve lading geven. Door de positieve lading hechten de stofdeeltjes zich aan de metalen buitenmantel van de ASPRA Agro. Door middel van een borstelsysteem worden de stofdeeltjes iedere 36 uur (interval is instelbaar) van de binnenkant geveegd en opgevangen in metalen bussen onderaan de ASPRA Agro. Het luchtdebiet van de ASPRA Agro is instelbaar tot maximaal 11.500 m<sup>3</sup>/uur. Figuur 2.1-A geeft een foto van een ASPRA Agro. Figuur 2.1-B geeft een weergave van de techniek zoals toegepast in de proefstal waarin is gemeten.

In bijlage 8 is een concept van de beschrijving opgenomen, conform het format van de BWL-beschrijvingen voor reducerende technieken. Hierin zijn de belangrijkste elementen opgenomen waaraan een stal uitgerust met deze techniek moet voldoen om een vergelijkbaar effect op de stofemissie te realiseren.



**Figuur 2.1-A** Foto van de ASPRA Agro.



**Figuur 2.1-B** De ASPRA Agro in de 'binnentuin' van de Kipsterstal waar is gemeten. In de blauwe cirkels twee van de in totaal acht units. De foto toont de binnentuin van de Kipsterstal met links en rechts (achter de witte schermen) de nachtverblijven.

---

## 2.2 Beschrijving stal en bedrijfssituatie

De metingen zijn uitgevoerd in de Kipsterstal voor leghennen. In de stal werden 24.000 leghennen gehouden, verdeeld over vier compartimenten (niet lucht gescheiden). De Kipsterstal bestaat uit twee nachtverblijven die gekoppeld zijn via een overdekte binnentuin (dagverblijf) (zie figuur 2.1-B). De nachtverblijven zijn voorzien van een enkele rij volièrestellingen met legnesten, voer- en drinkwatersysteem. Aan de andere (buiten)zijde van de nachtverblijven is een vrije uitloop (zie ook plattegrond in bijlage 1). De leghennen verblijven 's nachts in het nachtverblijf en hebben alleen toegang tot de binnentuin en de vrije uitloop tussen 10 uur 's ochtends en zonsondergang. Tijdens het uitvoeren van de metingen kregen de hennen geen toegang tot deze vrije uitloop omdat de geopende uitloopschuiven tot dwarsventilatie/ongecontroleerde emissies zouden kunnen leiden en zo een zuivere emissiemeting zou verhinderen. Het dak over de stal is asymmetrisch, waarbij het gedeelte over de binnentuin voorzien is van lichtdoorlatend materiaal (zie figuur 2.1-B). Voor toegang tot de binnentuin worden de witte schermen tussen de nachtverblijven en de binnentuin volledig geopend (zie figuur 2.1-B en bijlage 1).

Aan de ene kopse kant van de stal vindt de eierverzameling plaats, aan de andere kant zitten de centrale delen voor de voer- en drinkwatervoorziening, een mestdroogtunnel en de hoofdventilatoren voor de luchtafvoer. Deze hoofdventilatoren zuigen lucht uit een 'drukkamer', een ruimte boven de droogtunnel en direct onder het dak. Zowel de nachtverblijven als de binnentuin zijn voorzien van aparte ventilatoren, die de lucht uit deze ruimtes in een ruimte voor de droogtunnel blazen. De ventilatie van beide ruimten wordt geregeld op basis van de temperatuur in nachtverblijven. De ventilatoren van de nachtverblijven zijn altijd in bedrijf. De lucht uit de nachtverblijven en een deel van de lucht uit de binnentuin wordt afgevoerd via de mestdroogtunnel. Samen tot maximaal 8 m<sup>3</sup>/dier per uur. Als de ventilatiebehoefte toeneemt worden lamellen geopend tussen de binnentuin en de 'drukkamer' voor de hoofdventilatoren.

Alle lucht gaat via zogenaamde absoluutfilters naar buiten. Deze bevinden zich tussen 'drukkamer' voor de hoofdventilatoren en de ruimte met de droogtunnel en in de wand tussen binnentuin en de 'drukkamer'.

De lucht wordt aangevoerd via beluchting op de mestbanden in de nachtverblijven (ca. 0,7 m<sup>3</sup>/dier per uur), luchtinlaatventielen in de zijgevels of via de uitloopopeningen naar de vrije uitloop als deze zijn geopend. In de binnentuin zijn ook ondersteunende circulatieventilatoren aanwezig die zorgen voor een continue luchtcirculatie. Ze worden ingeschakeld bij temperaturen boven de 27 °C. Na de eerste koppel hennen is begin 2019 een nevelinstallatie geïnstalleerd in de binnentuin. Deze wordt ingeschakeld als de temperatuur in de binnentuin boven de 30 °C komt.

In de overdekte binnentuin zijn in totaal acht ASPRA Agro's aanwezig (twee per compartiment) waarmee de concentratie aan fijnstof in deze ruimte wordt gereduceerd. Ook deze zorgen voor een continue luchtbeweging. Vanwege een gelijkmatige verdeling over de dierruimte zijn meer ASPRA Agro's aangebracht dan op basis van de concept beschrijving (bijlage 8) nodig zouden zijn. Om geen overmaat aan ionisatie te hebben zijn de units beperkt op 80% van hun maximum vermogen. Hiermee komt het ioniserende vermogen overeen met het vermogen volgens het aantal zoals vermeld in de concept beschrijving. Het debiet van de ASPRA Agro's was altijd ingesteld op 100% (zie 2.1).

In bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de belangrijkste kenmerken van de stal en enkele managementaspecten, samen met enkele foto's en een overzichtsfoto van het bedrijf. Op het bedrijf zijn geen andere stallen aanwezig. In de omgeving bevinden zich diverse andere agrarische bedrijven, waaronder ook pluimveehouderijen. Ten noorden en oosten van het bedrijf loopt een snelweg.

## 2.3 Meetstrategie

Emissie reducerende technieken voor stallen worden normaliter getest volgens het meetprotocol zoals die is opgesteld in Nederland (Ogink et al., 2011) en in het internationale VERA collectief (VERA, 2018a). Deze protocollen schrijven o.a. het volgende voor:

- een techniek moet op twee bedrijfslocaties worden getest om variatie in de prestatie van de techniek tussen bedrijven (t.g.v. ras, management, voeding, enzovoort) mee te nemen in het uiteindelijke reductiepercentage;

- de metingen dienen plaats te vinden in een proefstal versus een identieke referentiestal op hetzelfde bedrijf (een "case-control" strategie) of ná versus vóór een end-of-pipe-techniek zoals een filter;
- per bedrijfslocatie moeten er zes 24-uursmetingen uitgevoerd worden (totaal 12). Daarvan moeten tenminste vier metingen per bedrijfslocatie en tien in totaal 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 vervuilende stof. Het protocol schrijft zowel voor het meten van het ventilatiedebiet als voor het meten van concentraties een aantal wetenschappelijk valide meetmethoden voor. Voor pluimveestallen waar meerdere ventilatoren aanwezig zijn (wat het gebruik van meetwaaiers belemmert) is de CO<sub>2</sub>-balansmethode een valide methodiek om het ventilatiedebiet te bepalen. Voor fijnstof schrijft het Nederlandse fijnstofprotocol een gravimetrische methode voor die geschikt is voor toepassing in een stofrijke stalomgeving;
- de bemeten stallen dienen te voldoen aan landbouwkundige randvoorwaarden (zie bijlage 2). 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.

Gezien de grote behoefte aan innovatieve technieken voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij is in de fijnstofpilots in de Foodvalley regio beoogd om op een relatief goedkope en eenvoudige manier snel inzicht te krijgen in het perspectief en de reductie van zulke technieken. Daarom zijn er in de pilots een aantal bewuste omissies gepleegd t.a.v. de methodologie. Deze kunnen als volgt worden samengevat:

- a. de gemiddelde emissiereductie is vastgesteld door een meetserie van zes metingen op één bedrijfslocatie i.p.v. twee meetseries van in totaal twaalf metingen op twee bedrijfslocaties zoals het meetprotocol dit voorschrijft;
- b. Er is niet gemeten in een fysieke proefstal en een fysieke controlestal maar gemeten volgens een "case-control in de tijd" strategie. Een techniek wordt dan in een proefstal geïnstalleerd waarbij via metingen tijdens aan-dagen versus uit-dagen het reductiepercentage wordt bepaald;
- c. het ventilatiedebiet is vastgesteld aan de hand van de CO<sub>2</sub>-balansmethode op grond van metingen van CO<sub>2</sub> in de stal (conform het meetprotocol) maar met een vaste (niet gemeten) achtergrondwaarde voor CO<sub>2</sub> in de buitenlucht;
- d. de achtergrondconcentraties van fijnstof (PM<sub>10</sub>) zijn niet gemeten, hiervoor zijn achtergrondconcentraties gebruikt van het dichtstbijzijnde meetstation van het Luchtmeetnet (RIVM, 2019).

Er zijn in totaal zeven metingen uitgevoerd, waarvan zes bruikbare resultaten opleverden. Metingen zijn uitgevoerd gedurende ca. 24 uur. Gedurende de onderzoeksperiode heeft de reducerende techniek in de stal normaal gesproken op 'aan' gestaan. Tijdens de metingen heeft de pluimveehouder ca. 24 uur voor de aanvang van de 'uit'-meting de techniek uitgeschakeld. Na deze 24 uur is de 'uit'-meting gestart. Na een meting van 24 uur zijn de ASPRA Agro's weer ingeschakeld. De 'aan'-meting is daarna minimaal 24 uur voortgezet. Volgens de leverancier is een uur stabilisatieperiode tussen de uit- en de aan-meting voldoende om het effect van de ASPRA Agro te kunnen meten. In de periode tussen de 'uit'- en 'aan'-meting zijn de filters in de cyclonen vervangen (zie paragraaf 2.4.1).

Tijdens voornoemde meetdagen zijn de concentraties van fijnstof (PM<sub>10</sub>) en koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) gemeten, alsook de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid (RV). Met behulp van gasdetectiebuisjes (Kitagawa) is op iedere meetdag indicatief de ammoniakconcentratie gemeten. Er zijn geen concentraties van fijnstof, dan wel waarden van temperatuur en RV gemeten in de buitenlucht. Voor deze waarden is gebruik gemaakt van de dichtstbijzijnde meetstations van het KNMI (voor temperatuur en RV) en het RIVM (voor PM<sub>10</sub>) voor dezelfde periode als de meetperioden. Voor de concentratie van CO<sub>2</sub> in de buitenlucht is een vaste waarde van 400 ppm genomen. Vanwege de afwezigheid van de dieren gedurende bepaalde perioden, kan voor binnentuin geen eigen emissie worden bepaald op basis van de CO<sub>2</sub>-massabalans. Gedurende deze perioden is er geen CO<sub>2</sub>-productie door de hennen en daarmee een lage CO<sub>2</sub>-concentratie. Het resultaat van de berekening (zie



par. 2.5.1) is dan een hoog ventilatiedebiet, terwijl tijdens die periode de ventilatie juist minimaal is (tijdens de eerste metingen zelfs uit). Daarom is gekozen om het verschil in concentratie te meten in de binnentuin en de emissie te baseren op de CO<sub>2</sub>-concentraties van metingen in de voorruimte/drukkamer van de droogtunnel. In deze ruimte komt zowel de lucht uit de binnentuin als uit de nachthokken.

Voor het bepalen van de concentraties in de binnentuin is een positie gekozen die representatief is voor de stallucht in de binnentuin en zodanig dat de lichtsnelheid beneden 2 m/s bleef om niet-isokinetische condities (d.w.z. condities waarbij de lichtsnelheid in de stal en die van de sample flow te zeer uit de pas lopen en grotere deeltjes onder- of overbemonsterd worden) te voorkomen. Als meetlocatie in de binnentuin is gekozen voor het derde compartiment, gezien vanaf de ruimte met de eierinpakker. Figuur 2.2 geeft de situatie in de bemeten stal weer van de meetpositie ten opzichte van de ASPRA Agro's. In de plattegrond in bijlage 1 is het meetpunt met een blauwe cirkel aangegeven.



**Figuur 2.2** Plaats van de meting van de concentraties in de stal (blauw omcirkeld).

## 2.4 Meetmethoden

### 2.4.1 Fijnstof (PM<sub>10</sub>)

De concentratie van PM<sub>10</sub> in de stallucht is gemeten volgens de gravimetrische meetmethode. PM<sub>10</sub> werd verzameld op een filter nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM<sub>10</sub>-cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS). Het PM<sub>10</sub> 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 stofmonsternamen 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 monsternamen bedroeg de hoeveelheid verzamelde PM<sub>10</sub>. Lucht werd door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamenpompen van het type Charlie HV (roterend, 6 m<sup>3</sup>/uur, Ravebo Supply BV, Brielle). Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternamenkop (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<sup>3</sup>/uur) en op een start- en eindtijd van de monsternamenperiode. De werkelijke hoeveelheid aangezogen lucht bij de monsternamenpunten wordt met een gasmeter gemeten (gecorrigeerd naar de temperatuur bij de monsternamenpunten). De massaconcentratie werd nu verkregen door de gewogen hoeveelheid

ingevangen PM<sub>10</sub> (mg) te delen door de gemeten flow (m<sup>3</sup>). Op de verkregen massaconcentratie werd een correctie toegepast op basis van het onderzoek van Zhao et al. (2009) met de volgende formules:

- PM<sub>10</sub> < 222,6 µg/m<sup>3</sup>:  $Y = 1,0877 * X$
- PM<sub>10</sub> > 222,6 µg/m<sup>3</sup>:  $Y = 0,8304 * X + 57,492$

(X=gemeten concentratie)

Daarnaast is de concentratie van fijnstof (PM<sub>10</sub>; mg/m<sup>3</sup>) bij enkele metingen ook gemeten met een DustTrak apparaat (DustTrak™ Aerosol Monitor, model 8530, TSI Inc., Shoreview, USA; zie figuur 2.3). De PM<sub>10</sub>-concentratie werd elke seconde gemeten en als tweeminutengemiddelden gelogd in het geheugen van de DustTraks. De DustTraks geven een systematische onderschatting van de echte concentratie (zoals bepaald volgens EN 12341:1998; Winkel et al., 2015a; Cambra-López et al., 2015). Daarom zijn de concentraties, zowel van proef- als referentieperioden, gecorrigeerd met een correctiefactor. Voor deze metingen, uitgevoerd met model 8530, is dat de factor 2,53 die door WLR is bepaald op dezelfde wijze als is gedaan in Winkel et al. (2015a). De resultaten van de metingen die ten grondslag liggen aan deze correctiefactor staan in bijlage 5.



**Figuur 2.3** Gebruikte DustTrak-model 8530 voor het meten van PM<sub>10</sub>.

#### 2.4.2 Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) t.b.v. het ventilatiedebiet

Ten behoeve van het vaststellen van het ventilatiedebiet is de concentratie van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) gemeten. Via de CO<sub>2</sub>-balansmethode is het ventilatiedebiet bepaald.

De CO<sub>2</sub>-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 met het monsternamapunt. 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 monsternamapunt. De 24-uursgemiddelde concentratie van CO<sub>2</sub> in het luchtmonster werd gemeten met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A; detector: HWD).

Om inzicht te krijgen in het verloop van de CO<sub>2</sub>-concentratie over 24 uur vanwege de afwezigheid van de dieren gedurende bepaalde perioden, zijn ook enkele metingen uitgevoerd met een elektronische sensor. Hierbij is gebruik gemaakt van een Vaisala CO<sub>2</sub>-sensor (Vaisala; Vantaa, Finland; CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP252; type met meetbereik 0-5000 ppm).

#### 2.4.3 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Ter vastlegging van de meetomstandigheden werden temperatuur en relatieve luchtvochtigheid gemeten met een gecombineerde logger (Escort iLog; Askey dataloggers; Leiderdorp, Nederland).

---

#### 2.4.4 Productiegegevens

Op iedere tweede dag van de metingen is de volgende informatie overgenomen van de hokkaart:

- aantal opgezette en aanwezige dieren;
- indien mogelijk: gemiddeld diergewicht (eventueel afgelezen waarde voor het betreffende productiestadium uit de productiegids van het merk dier);
- voerverbruik van de dieren;
- waterverbruik van de dieren;
- legpercentage;
- eigewicht;
- uitval;
- eventuele toediening van medicatie of additieven.

### 2.5 Dataverwerking en analyse

#### 2.5.1 Berekening ventilatiedebiet

Voor het berekenen van het ventilatiedebiet per afzonderlijke meetdag is de CO<sub>2</sub>-balansmethode gebruikt. Deze methode is gebaseerd op de rekenregels van de CIGR voor het bepalen van de CO<sub>2</sub>-productie van de dieren (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). Hiervoor wordt eerst de warmteproductie van de leghennen als volgt berekend:

$$\Phi_{tot} = 6.8 m^{0.75} + 25Y$$

waarbij:

- $\Phi_{tot}$  = totale warmteproductie per dier in W;
- m = gewicht van het dier in kg
- Y = eiproductie in kg/dag.

De CO<sub>2</sub>-productie wordt vervolgens berekend met behulp van de volgende formule:

$$CO_2 - productie = \Phi_{tot} * 0.185$$

waarbij:

- CO<sub>2</sub>-productie = productie van CO<sub>2</sub> in m<sup>3</sup>/uur per dier;
- 0.185 = CO<sub>2</sub>-productie in m<sup>3</sup>/uur per kW.

Het ventilatiedebiet werd vervolgens berekend op basis van de volgende formule:

$$Q = \frac{CO_2 - productie}{([CO_2]_{stal} - [CO_2]_{buiten}) * 10^{-6}}$$

waarbij:

- Q = ventilatiedebiet in m<sup>3</sup>/uur per dier;
- [CO<sub>2</sub>]<sub>stal</sub> = CO<sub>2</sub> concentratie in parts per million (ppm) gemeten bij het emissiepunt van de stal;
- [CO<sub>2</sub>]<sub>buiten</sub> = vaste waarde voor de concentratie van CO<sub>2</sub> in de buitenlucht van 400 ppm.

#### 2.5.2 Berekening fijnstofemissie

Per afzonderlijke meetdag werd de emissie van PM<sub>10</sub> bepaald, d.w.z. zowel voor de 'referentiedagen' als de 'proefdagen' binnen de proefstal, op basis van de volgende formule:

$$E = Q * ([PM_{10}]_{stal} - [PM_{10}]_{buiten}) * 10^{-6} * 24 * 365$$

waarbij:

- E = emissie van PM<sub>10</sub> in g/jaar per aanwezig dier;
- Q = ventilatiedebiet in m<sup>3</sup>/uur per dier;
- [PM<sub>10</sub>]<sub>stal</sub> = de concentratie van PM<sub>10</sub> in µg/m<sup>3</sup>, gemeten nabij het emissiepunt van de stal;

- $[PM_{10}]_{\text{buiten}}$  = de concentratie van  $PM_{10}$  in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , gemeten door het dichtstbijzijnde meetstation van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit voor dezelfde periode;
- $10^{-6}$  = conversiefactor van  $\mu\text{g}$  naar  $\text{g}$ ;
- 24 = conversiefactor van uur naar dag;
- 365 = conversiefactor van dag naar jaar.

Er wordt in bovenstaande berekening geen rekening gehouden met de leegstand tussen productieperioden. Dit is wel nodig bij het berekenen van een absolute emissiefactor, maar niet in deze situatie voor het berekenen van een reductiepercentage.

### 2.5.3 Berekening eindreductiepercentage fijnstofemissie met bandbreedte

In de pilot was sprake van de volgende situatie:

- leghennen met een stabiel emissiepatroon;
- meetdagen die gebalanceerd zijn gekozen over de productieperiode en het jaar.

In deze situatie is het eindreductiepercentage berekend over de emissies. Door eerst de emissies van casedagen en controledagen te middelen en vervolgens een eindreductiepercentage te berekenen over die twee gemiddelde emissiecijfers worden de individuele reductiepercentages gewogen naar rato van hun bijdrage aan de totale emissie.

Om enig inzicht te krijgen in de precisie waarmee het verkregen eindreductiepercentage is bepaald, zijn voor dit cijfer een aantal betrouwbaarheidsintervallen berekend. Een  $x\%$ -betrouwbaarheidsinterval is een combinatie van een ondergrens en bovengrens waarvoor het voor  $x\%$  zeker is dat het gemiddelde daarin valt. Hiervoor zijn de reductiepercentages van de individuele metingen gebruikt. Onder de aanname van statistische onafhankelijkheid en normaliteit geldt dat het betrouwbaarheidsinterval gelijk is aan het gemiddelde  $\pm t_{(v=n-1; \alpha)} \cdot \text{SE}$ , waarbij  $t$  de waarde is uit de Student-verdeling bij  $v$  vrijheidsgraden,  $n$  waarnemingen en een onbetrouwbaarheidsdrempel  $\alpha$  en SE de standaardfout (berekend als de standaardafwijking gedeeld door de wortel uit het aantal waarnemingen).

### 2.5.4 Statistische analyses

Verschillen tussen controle- en casedagen voor de variabelen die direct of indirect gerelateerd zijn aan het emissieproces, zijn getoetst op significantie door middel van gepaarde  $t$ -toetsen. Het gaat daarbij om de factoren:

- temperatuur in de stal;
- relatieve luchtvochtigheid in de stal;
- $\text{CO}_2$ -concentratie in de stal;
- ventilatiedebiet;
- fijnstofconcentratie in de stal, en;
- fijnstofemissie.

De eerste vier genoemde variabelen zijn tweezijdig getoetst. De laatste twee genoemde variabelen zijn eenzijdig getoetst, uitgaande van de onderzoekshypothese van hogere waarden op controledagen.

De vergelijkbaarheid van het ventilatiedebiet op case-dagen versus die op controledagen werd verkend met behulp van Enkelvoudige Lineaire Regressie. Hierbij wordt het ventilatiedebiet op case-dagen als  $Y$ -variabele genomen en het ventilatiedebiet op controledagen als  $x$ -variabele. Idealiter ontstaat tussen de twee variabelen een  $Y=x$  oftewel 1:1 relatie met een lijnstuk door de oorsprong onder een hoek van 45 graden omhoog. Getoetst is of de richtingscoëfficiënt significant afwijkt van 1 (bij standaard regressie wordt getoetst op afwijken van nul).

Relaties tussen het reductiepercentage en mogelijke invloedsfactoren (fijnstofconcentratie, ventilatiedebiet) 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.

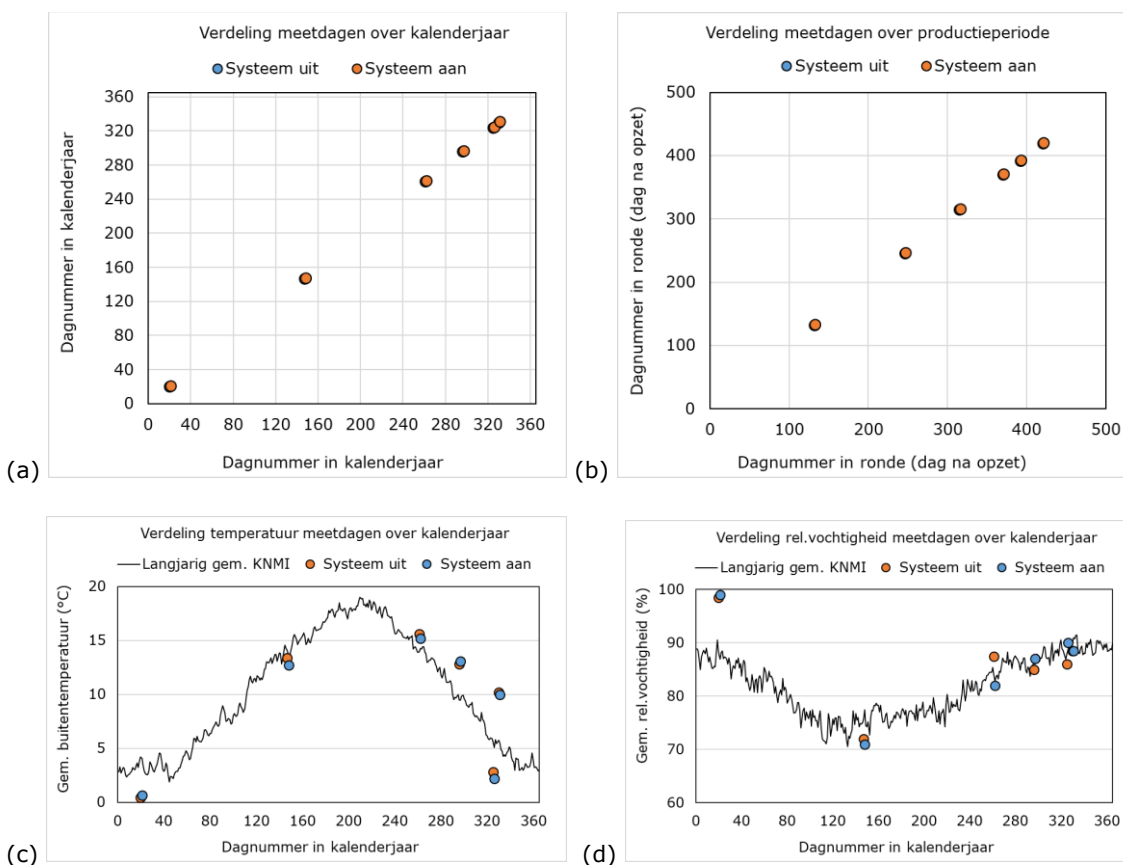
---

Voor de analyses werden de paartjes van waarnemingen als statistisch onafhankelijk beschouwd. Verschillen of relaties 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 (VSN, 2019).

## 3 Resultaten

### 3.1 Meetomstandigheden

Het Nederlandse meetprotocol voor fijnstof (Ogink et al., 2011) schrijft voor dat er per bedrijfslocatie zesmaal gemeten moet worden. De metingen moeten gelijkmatig verdeeld over een jaar zijn verricht. Figuur 3.1 laat zien hoe de metingen op de locatie in werkelijkheid verdeeld waren. Minimaal 80% van de metingen moet betrouwbare resultaten opleveren. De metingen moeten gebalanceerd over de productieperiode zijn uitgevoerd.



**Figuur 3.1** Verdeling van de metingen over het jaar (a), en productieperiode (b) en in vergelijking met de buitentemperatuur (c) en relatieve luchtvochtigheid (d) volgens de gemiddelde waarden gemeten over 1981 t/m 2010 van het KNMI-station De Bilt (weergegeven als lijn).

Er zijn in totaal zeven metingen uitgevoerd in de periode oktober 2018 tot en met januari 2020 (zie bijlage 3). Hiervan gaven zes metingen betrouwbare resultaten. Meting 4 is geëxcludeerd uit de dataset vanwege een niet betrouwbare meting van de stofconcentratie. Vanwege het aanstaan van de nevelkoeling zijn mogelijk meerdere van de ASPRA Agro's in storting geweest. Dit viel niet meer te achterhalen. Mogelijk dat de nevelkoeling ook een effect heeft gehad op de resultaten van meting 5. Hierop wordt in de discussie (hoofdstuk 4) verder ingegaan.

Het gemiddelde dagnummer van de dagen waarop is gemeten is 230 (streven: ca 183). De metingen zijn niet geheel gelijkmatig over het jaar verdeeld. Er zijn vooral metingen gedaan in de tweede helft van het jaar. Door het laten vervallen van meting 4 is nog een zevende meting gedaan aan het begin van 2020. Door omstandigheden (afwezigheid meettechnici door ziekte, leegstand en aanpassingen aan stal en systeem) zijn nagenoeg alle metingen uitgevoerd in het tweede deel van het jaar. Dezelfde



---

omstandigheden hebben ook geleid tot een ongelijke verdeling van de metingen over de productieperiode. Hierbij mist een meting in de eerste weken na opzet van de dieren.

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 (waterverbruik, voerverbruik, water/voer-verhouding, eiproductie, en uitval) vielen nagenoeg allemaal binnen de normen van het ras die gesteld zijn door de fokkerijgroepering en de landbouwkundige voorwaarden (zie bijlage 2). Tijdens twee meetdagen lag de gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie, gemeten in de ruimte voor de droogtunnel, boven de 3.000 ppm. In deze ruimte bevinden zich geen dieren. Aangezien de CO<sub>2</sub>-concentratie in de binnentuin gemiddeld over de meetperiode beneden de 3.000 ppm is gebleven (zie tabel 1), is de concentratie in één of beide nachtverblijven boven de 3.000 ppm geweest gedurende de meetperiode. Op de laatste meetdag was het cumulatieve uitvalspercentage gestegen tot net boven de 8%. De totale uitval tijdens de ronde was uiteindelijk ruim 16%. Dit is zeer waarschijnlijk veroorzaakt door de hoge buitentemperaturen in de zomer van 2019 en een slechte start van het koppel na opzet (mondelinge mededeling pluimveehouder).

De gemiddelde buitentemperatuur bedroeg 9,0 °C voor de meetdagen met de techniek aan versus 9,2 °C voor de meetdagen met de techniek uit (langjarig gemiddelde KNMI: 10,2 °C). Voor de RV was dit op beide meetdagen 86% (langjarig gemiddelde KNMI: 82%). De gemiddelde buitentemperatuur tijdens de metingen lag daarmee 1,2 °C en 1,0 °C lager dan het langjarig gemiddelde voor respectievelijk meetdagen met de techniek aan en uit. Dit komt voornamelijk door meting 2 in 2018 en meting 7 begin 2020. De gemiddelde RV tijdens de meetdagen lag slechts 4% boven het langjarig gemiddelde. Dit ondanks de hoge RV-waarden tijdens de meting begin 2020.

De gemiddelde temperatuur in de stal bedroeg 21,4 °C voor de meetdagen met de techniek aan versus 21,8 °C voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil niet significant ( $P=0,54$ ). De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in de stal bedroeg 69% voor de meetdagen met de techniek aan versus 68% voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil niet statistisch significant ( $P=0,89$ ).

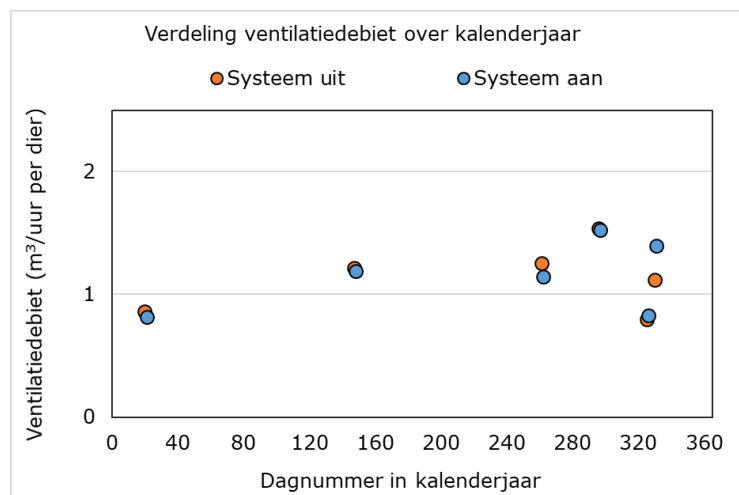
De waarden van de indicatieve ammoniakmetingen zijn niet opgenomen in tabel 1. Ze varieerden binnen de normale waarden voor stallen met leghennen en geven geen aanleiding om een relatie met de ASPRA Agro te analyseren.

**Tabel 1** Data waarop de metingen zijn uitgevoerd met dagnummer in het jaar en dagnummer in productiecyclus, relevante technische resultaten en de klimaatomstandigheden (buitenklimaat en in de stal).

Variabele ([leenheid])	Meting 1		Meting 2		Meting 3		Meting 5		Meting 6		Meting 7	
	Uit	Aan	Uit	Aan	Uit	Aan	Uit	Aan	Uit	Aan	Uit	Aan
<b>Algemeen</b>												
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	23-10-2018	24-10-2018	20-11-2018	21-11-2018	27-5-2019	28-5-2019	18-9-2019	19-9-2019	26-11-2019	27-11-2019	20-1-2020	21-1-2020
Tijd start meting [hh:mm]	11:55	12:30	11:50	12:45	9:45	10:45	9:00	10:00	9:00	10:00	9:30	10:45
Datum einde meting [dd-mm-yyyy]	24-10-2018	25-10-2018	21-11-2018	22-11-2018	28-5-2019	29-5-2019	19-9-2019	20-9-2019	27-11-2019	28-11-2019	21-1-2020	22-1-2020
Tijd einde meting [hh:mm]	11:55	12:30	11:50	12:45	9:45	10:45	9:00	10:00	9:00	10:00	9:30	10:45
Dagnummer in jaar [#]	296	297	324	325	147	148	261	262	330	331	20	21
<b>Productiekengedaten</b>												
Opzetdatum dieren [dd-mm-yyyy]	26-09-17		26-09-17		15-01-19		15-01-19		15-01-19		15-01-19	
Ras	DEKALB White		DEKALB White		DEKALB White		DEKALB White		DEKALB White		DEKALB White	
Dagnummer in productieronde	392	393	420	421	132	133	246	247	315	316	370	371
Aantal dieren geplaatst	22972	22967	22730	22721	23571	23565	23101	23096	22709	22700	22060	22044
Aantal dieren aanwezig	4,2	4,2	5,2	5,2	1,8	1,8	3,7	3,8	5,3	5,4	8,1	8,2
Uitval cumulatief [%]	1710	1711	1693	1705	1720	1720	1718	1718	1725	1725	1728	1728
Diergewicht [g]	111	111	120	120	114,5	114,5	118,7	118,7	125	126	127	125
Voeropname [g/dier per dag]	209	209	220	220	263	263	258	258	246	246	249	240
Wateropname [mL/dier per dag]	1,9	1,9	1,8	1,8	2,3	2,3	2,2	2,17	2,0	1,95	2,0	1,92
Water/voer-verhouding	89,5	89,2	84,3	84,2	92,1	92,1	94	94	90	90	86	86
Legpercentage	60	59,6	59,8	60,1	55,8	55,8	59	59	61	61	61	61
Gemiddeld eigewicht (g)												
<b>Buitenluchtcondities</b>												
Gem. temperatuur (KNMI) [°C]	12,8	13,1	2,8	2,2	13,4	12,7	15,6	15,2	10,2	10,0	0,5	0,7
Gem. Relat. luchtvochtigheid (KNMI) [%]	85	87	86	90	72	71	88	82	89	89	99	99
Windrichting [KNMI]	W,WNW	WNW,WZW	O,O	O,O	W,N	N,Z	NW,NNO	NNO,O	ZZO,Z	Z,WZW	ZZW,ZZW	ZZW,ZW
Achtergrond PM10 (LML) [µg/m³]	15,8	14,5	32,3	35,5	10,6	9,6	11,7	9,4	7,6	5,2	10,0	8,1
Achtergrond PM2.5 (LML) [µg/m³]	6,9	9,2	26,6	27,0	6,3	8,3	5,4	4,9	7,2	4,7	14,4	20,6
<b>Stallucht en ventilatie</b>												
Luchttemperatuur; gemiddelde [°C]	22,6	23,2	15,4	16,4	28,1	24,9	24,4	23,9	22,5	22,0	17,9	18,1
Luchttemperatuur; minimum [°C]					22,2	20,1	18,2	18,0	18,3	19,0	13,9	14,9
Luchttemperatuur; maximum [°C]					37,9	29,7	34,4	32,2	25,6	26,2	22,9	22,3
Relatieve luchtvochtigheid [%]	64	67	73	73	56	63	59	59	71	71	84	83
CO <sub>2</sub> -concentratie binnentuin [ppm]	1521	1551	1670	1717	1915	2023	1919	2072	1946	1509	2549	2644
CO <sub>2</sub> -concentratie voor droogtunnel [ppm]	1786	1794	3046	2950	2151	2188	2112	2278	2319	1938	2885	3021
Ventilatie-debiet [m³/h per dier]	1,54	1,53	0,79	0,83	1,21	1,19	1,25	1,14	1,12	1,40	0,86	0,82
<b>Fijnstofconcentraties en -emissies</b>												
Concentratie PM10 [µg/m³]	7270	3526	4352	3493	7766	4642	7267	6955	1921	1188	2859	1267
Concentratiereductie PM10 abs. [µg/m³]		3744		859		3125		312		733		1592
Concentratiereductie PM10 rel. [%]		51,5		19,7		40,2		4,3		38,2		55,7
Gem. emissie PM10 [g/dier per jaar]	98	47	30	25	83	48	80	69	19	14	21	9
Emissiereductie PM10 abs. [g/dier per jaar]		51		5		34		10		4		12
<b>Emissiereductie PM10 rel. [%]</b>		<b>52</b>		<b>17</b>		<b>42</b>		<b>13</b>		<b>23</b>		<b>58</b>

## 3.2 CO<sub>2</sub>-concentratie en ventilatiedebiet

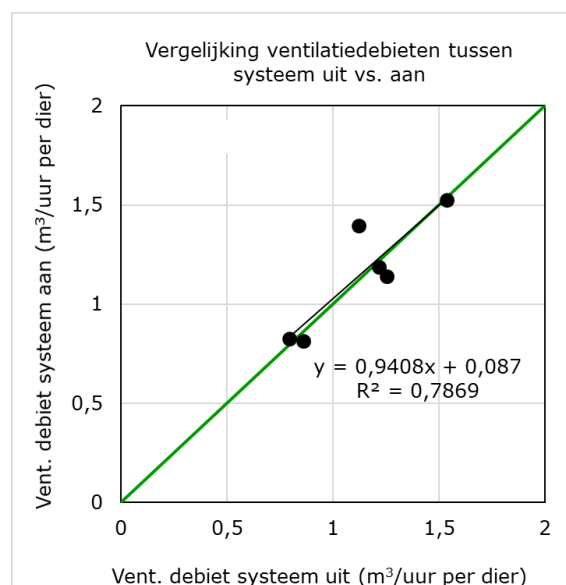
Tabel 1 toont de gemeten CO<sub>2</sub>-concentraties. De gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie in de binnentuin bedroeg 1919 ppm voor de meetdagen met de techniek aan, versus 1920 ppm voor de meetdagen met de techniek uit. Voor de ruimte voor de droogtunnel waren deze waarden respectievelijk 2362 ppm en 2383 ppm. Uit de statistische analyse bleek het verschil tussen deze laatste waarden niet statistisch significant ( $P=0,80$ ). Op basis van de in tabel 1 weergegeven CO<sub>2</sub>-concentraties voor de ruimte voor de droogtunnel zijn de ventilatiedebieten berekend. In figuur 3.2 zijn deze weergegeven ten opzichte van het dagnummer in een kalenderjaar. Het ventilatiedebiet vertoont een relatief vlak patroon met voor leghennenstallen (Winkel et al., 2009a en 2015b) uitsluitend zeer lage ventilatieniveaus. Dagen met debieten boven 2 m<sup>3</sup>/uur per dier ontbreken in de dataset. Een mogelijke verklaring voor deze lage debieten is het feit dat alle lucht uit de stal via zogenaamde absoluutfilters wordt afgevoerd. Door belasting met stof is de ventilatiecapaciteit door deze filters waarschijnlijk sterk verminderd geweest.



**Figuur 3.2** Verdeling van het ventilatiedebiet over het kalenderjaar.

Het gemiddelde ventilatiedebiet ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg 1,1 ( $\pm 0,3$ ) m<sup>3</sup>/uur per dier voor zowel de meetdagen met de techniek aan als de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit kleine verschil (kleiner dan zichtbaar op één decimaal cijfer) niet statistisch significant ( $P=0,73$ ).

In figuur 3.3 is een nadere vergelijking uitgevoerd van het ventilatiedebiet tussen meetdagen met de techniek aan versus meetdagen met de techniek uit middels enkelvoudige lineaire regressieanalyse.

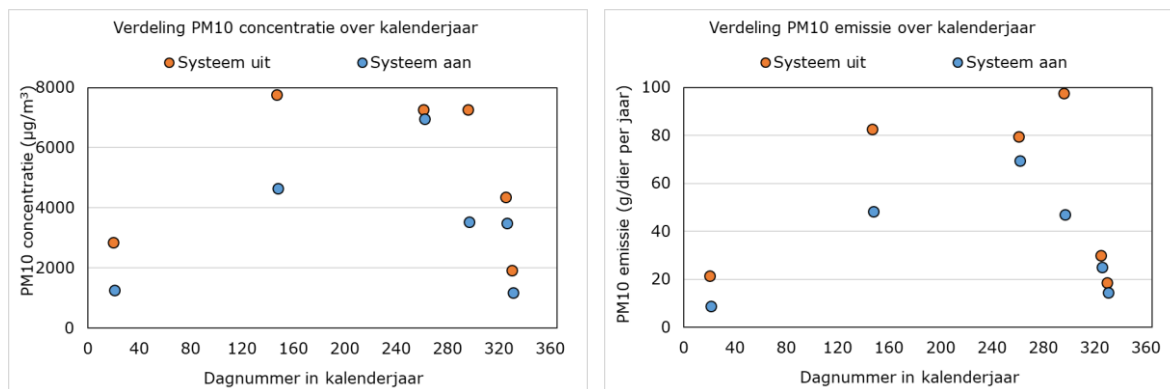


**Figuur 3.3** *Vergelijking van het ventilatiedebiet tussen meetdagen met de techniek aan versus meetdagen met de techniek uit.*

Uit de analyse blijkt dat de richtingscoëfficiënt van de regressielijn niet statistisch significant afwijkt van de waarde 1 (de groene  $Y=x$  lijn;  $P=0,821$ ) en ook het snijpunt van de regressielijn is niet significant afwijkend van nul (d.w.z. door de oorsprong;  $P=0,774$ ). Ook uit deze analyse blijkt dat de ventilatiedebieten zeer vergelijkbaar waren tussen dagen met het systeem aan en dagen met het systeem uit. Dit betekent dat er sprake is geweest van een zuivere vergelijkingsbasis in de meetstrategie v.w.b. het ventilatiedebiet. Waarbij opgemerkt moet worden dat de metingen zijn uitgevoerd bij lage ventilatieniveaus.

### 3.3 Concentratie, emissie en reductie PM<sub>10</sub>

De concentraties en emissies van PM<sub>10</sub> op meetdagen met de techniek aan en meetdagen met de techniek uit worden weergegeven in figuur 3.4. In de figuur is te zien dat zowel de concentraties als de emissies op de dagen met de techniek aan in alle gevallen lager was dan op de dagen met de techniek uit.



**Figuur 3.4** *PM<sub>10</sub> concentratie (links) en PM<sub>10</sub> emissie (rechts) op de meetdagen met de techniek aan en meetdagen met de techniek uit.*

De gemiddelde ( $\pm$  standaardafwijking) PM<sub>10</sub> concentratie in de stal bedroeg 5239 ( $\pm$  2533)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voor de meetdagen met de techniek uit, versus 3512 ( $\pm$  2171)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voor de meetdagen met de techniek aan. Uit de statistische analyse bleek dit verschil statistisch significant ( $P=0,015$ ).

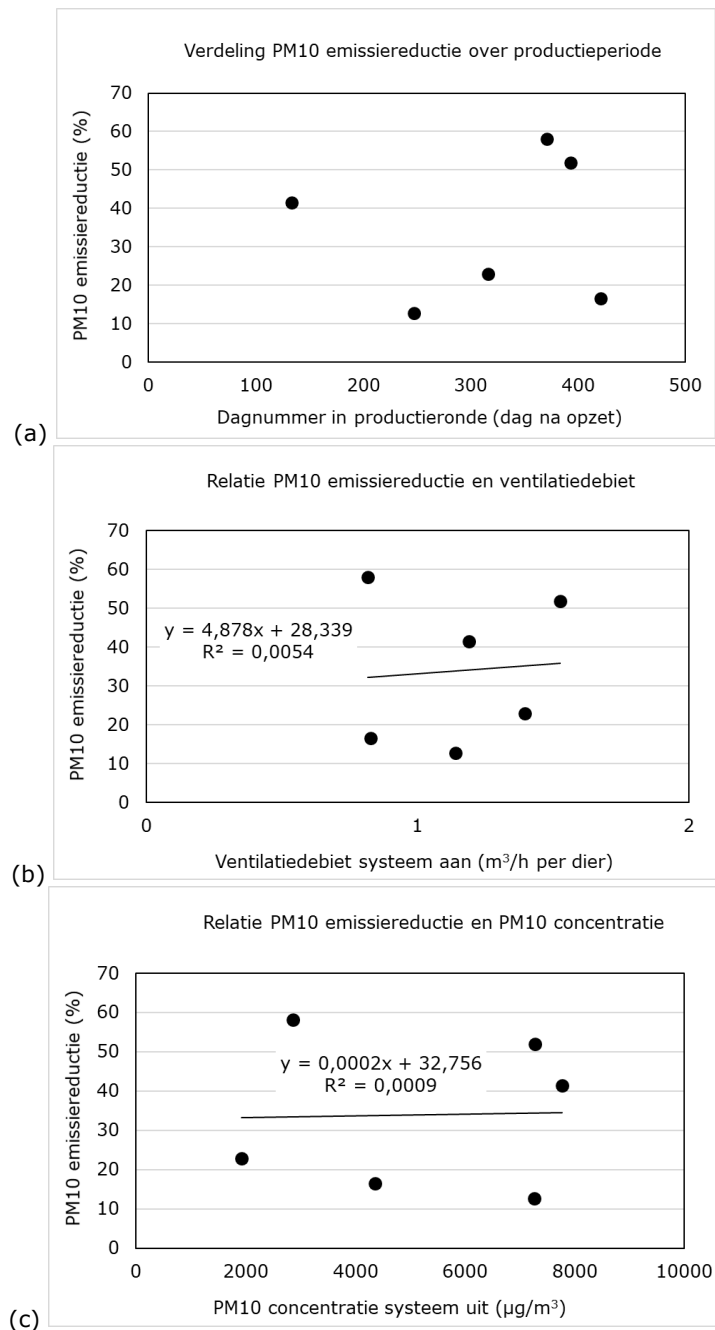
De gemiddelde PM<sub>10</sub> emissie uit de stal (berekend zoals beschreven in paragrafen 2.5.2 en 2.5.3) bedroeg 55,0 g/dier per jaar voor de meetdagen met de techniek uit, versus 35,5 g/dier per jaar voor de meetdagen met de techniek aan. Uit de statistische analyse bleek het verschil in emissies statistisch significant ( $P=0,026$ ). Op basis van deze beide waarden bedraagt het eindreductiepercentage van de techniek 35%. De emissieniveaus kunnen niet worden vergeleken met waarden die normaliter in leghennenstallen optreden, omdat hier geen sprake is van een normale 'stalsituatie' vanwege de aanwezigheid van de binnentuin. De huidige emissiefactor voor volièrehuisvesting is gebaseerd op metingen aan stallen zonder een dergelijke ruimte.

In figuur 3.5 worden de reductiepercentages weergegeven als functie van dagnummer in de productieronde, het ventilatiedebiet en de PM<sub>10</sub> concentratie in de stal. Omdat het hier 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 3.5 is die van een reductiepercentage welke niet wordt beïnvloed door productiestadium ( $P=0,89$ ), of stofconcentratie ( $P=0,96$ ). Of het reductiepercentage wordt beïnvloed door het ventilatiedebiet, kan op basis van figuur 3.5b niet worden bepaald. Daarvoor is de range van ventilatiedebieten waarbinnen de relatie wordt verkend, te nauw.

Een afnemende effectiviteit van ionisatiesystemen in pluimveestallen tot het volgende schoonmaakmoment is bij dit systeem niet gevonden. Dit is in tegenstelling tot een negatief

---

ionisatiesysteem van de firma Inter Continental (Ysselsteyn, Nederland), experimenteel onderzocht in een experimentele leghennenstal (Winkel et al., 2009) en een positief ionisatiesysteem van de firma ENS Clean Air (Cuijk, Nederland) beproefd in twee leghennenstallen (Winkel et al., 2013). Het is in overeenstemming met de zelfreiniging van het systeem door middel van de interne borstels.



**Figuur 3.5** Het reductiepercentage voor  $PM_{10}$  als functie van (a) dagnummer in de productieperiode, (b) het ventilatiedebiet en (c) de  $PM_{10}$  concentratie in de stal.

### 3.4 Metingen tijdens aan- en afwezigheid dieren in binnentuin

Naast de metingen met de gravimetrische methode voor  $PM_{10}$  en BKG-vat/gaschromatograaf voor  $CO_2$  zijn tijdens metingen 6 en 7 ook metingen gedaan met apparatuur waarmee het concentratieverloop kan worden gevolgd. De gebruikte apparatuur (DustTrak voor  $PM_{10}$  en Vaisala voor  $CO_2$ ) is beschreven in paragraaf 2.4. Er zijn daarbij niet alleen metingen gedaan in de binnentuin en in de voorruimte van de droogtunnel, maar ook in beide nachthokken. De plaats van meten in de beide eerstgenoemde ruimtes was gelijk aan die van de referentiemetingen. In de nachthokken is gemeten zo dicht mogelijk bij het begin van het aanzuigkanaal naar de ruimte voor de droogtunnel (zie voor plaats foto in bijlage 1). In bijlage 4 zijn de gemiddelde waarden weergegeven van alle 4 de meetpunten. In tabel 2 staan alleen de waarden van de metingen in de binnentuin. In beide tabellen zijn de algemene gegevens, productiegetallen en buitenluchtcondities niet vermeld. Deze zijn gelijk aan die in tabel 1 voor beide meetdagen.



Om inzicht te krijgen in het effect van de aan-/afwezigheid van hennen in de binnentuin - en de daarmee samenhangende fijnstofbelasting - op de prestaties van de ASPRA Agro's, zijn de data uitgesplitst in twee tijdperioden:

- van 10 uur 's ochtends tot 20 uur 's avonds; de periode dat de dieren toegang hebben tot de binnentuin met 30 minuten extra;
- van 20 uur 's avonds tot circa 9 uur 's ochtends (tijd verschilt soms per meetdag en meetpunt); de periode dat de dieren in de nachthokken zijn opgesloten.

Om de resultaten te kunnen vergelijken met die van de referentiemetingen, is het ventilatiedebiet ook bepaald op basis van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de ruimte voor de droogtunnel. Zowel voor de 24-uurs gemiddelden als voor de tijden dat de binnentuin wel en niet toegankelijk was. Voor de volledigheid zijn in de tabel in bijlage 4 ook de resultaten weergegeven met het ventilatiedebiet berekend op basis van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de betreffende ruimte.

**Tabel 2** Data van de continue metingen in de binnentuin over twee meetdagen. Emissie o.b.v. continue metingen, beperkte tijden en CO<sub>2</sub>-concentratie in drukkamer voor droogtunnel.

Variabele [eenheid]	Meting 6		Meting 7	
	UIT	AAN	UIT	AAN
<b><u>Binnentuin in gebruik</u></b>				
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	26-11-2019	27-11-2019	20-1-2020	21-1-2020
Tijd start meting [hh:mm]	10:00	10:00	10:00	10:40
Tijd einde meting [hh:mm]	20:00	20:00	20:00	20:00
CO <sub>2</sub> -concentratie [ppm]	2421	2128	2598 <sup>1)</sup>	2791 <sup>1)</sup>
Ventilatiedebiet [m <sup>3</sup> /uur per dier]	1,06	1,24	0,98	0,90
Concentratie PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	6499	3864	9131	3522
Emissie PM10 [g/dier per jaar]	60	42	78	28
Emissiereductie abs. [g/dier per jaar]		18		50
<b>Emissiereductie rel. [%]</b>		<b>30,5</b>		<b>64,6</b>
<b><u>Binnentuin afgesloten</u></b>				
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	26-11-2019	27-11-2019	20-1-2020	21-1-2020
Tijd start meting [hh:mm]	20:00	20:00	20:00	20:00
Tijd einde meting [hh:mm]	9:00	10:00	9:30	10:00
CO <sub>2</sub> -concentratie [ppm]	2086	1873	2517 <sup>1)</sup>	2681 <sup>1)</sup>
Ventilatiedebiet [m <sup>3</sup> /uur per dier]	1,27	1,46	1,01	0,94
Concentratie PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	837	306	860	449
Emissie PM10 [g/dier per jaar]	9	4	8	4
Emissiereductie abs. [g/dier per jaar]		5		4
<b>Emissiereductie rel. [%]</b>		<b>58,4</b>		<b>51,8</b>

<sup>1)</sup> Waarde gebaseerd op gemiddelde van metingen in andere drie ruimtes (zie ook bijlage 4).

Uit de resultaten in tabel 2 en bijlage 4 blijkt duidelijk dat de aanwezigheid van de dieren een hogere stofconcentratie in de binnentuin tot gevolg heeft (gemiddeld een factor 9,7). Dit is in overeenstemming met de metingen aan acht leghennenstallen die uitgevoerd zijn om de huidige emissiefactoren voor fijnstof te bepalen (Winkel et al., 2015b): deze metingen laten ook zien dat concentraties in de nacht, wanneer de hennen op stok zitten, fors dalen doordat de dieren niet meer actief zijn in en op de strooisellaag. Tijdens meting 6 is de emissiereductie tijdens de nacht (zonder kippen in de binnentuin) hoger dan overdag. Tijdens meting 7 is het beeld omgekeerd. De resultaten uit tabel 2 suggereren dat de prestatie van de ASPRA Agro's weinig of niet beïnvloed wordt door de stofbelasting van de apparaten. Dit is in overeenstemming met de analyse in figuur 3.5c.

---

## 4 Discussie

Ten aanzien van de resultaten van de metingen en de vertaling ervan naar een reductiepercentage moeten de volgende discussiepunten in acht worden gehouden. De beoordeling van deze discussiepunten leiden uiteindelijk tot de conclusie verwoord in hoofdstuk 5.

Voor het toepassen van emissie reducerende technieken in stallen in het kader van het verkrijgen van een omgevingsvergunning dienen deze technieken opgenomen te zijn in de officiële "Lijst emissiefactoren fijn stof voor veehouderij" zoals die regelmatig wordt geactualiseerd en gepubliceerd op de website van de Rijksoverheid (Rijksoverheid, 2018). Opname van de techniek in de lijst met een bepaald reductiepercentage vindt plaats nadat er door de leverancier van de techniek een aanvraag met een meetrapport is ingediend bij de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). Hoewel niet wettelijk vastgelegd (zoals dat overigens wel het geval is bij ammoniak) is het gebruikelijk dat het meetrapport en de daarin gevolgde methoden in overeenstemming zijn met het meetprotocol "Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010" zoals gepubliceerd door Ogink et al. (2011). Om aanvragen te beoordelen vraagt RVO technisch advies aan de Technische Advies Pool (TAP). Dit is een pool van deskundigen die voor diverse bedrijven en organisaties werken. Het beoordelingsproces gaat via het beoordeling-review-principe. Dit betekent dat minimaal twee deskundigen de aanvraag beoordelen. Dit om tot een volwaardig eindadvies te komen. Op basis van dit eindadvies stelt de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat het uiteindelijk reductiepercentage vast.

Gezien de grote behoefte aan innovatieve technieken voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij is in de fijnstofpilots in de Foodvalley regio beoogd om op een relatief goedkope en eenvoudige manier snel inzicht te krijgen in het perspectief en de reductie van zulke technieken. Daarom zijn er in de pilots een aantal bewuste omissies gepleegd t.a.v. de methodologie. Deze kunnen als volgt worden samengevat:

- a. de gemiddelde emissiereductie is vastgesteld door een meetserie van zes metingen op één bedrijfslocatie i.p.v. twee meetseries van in totaal twaalf metingen op twee bedrijfslocaties zoals het meetprotocol dit voorschrijft;
- b. er is niet gemeten in een fysieke proefstal en een fysieke controlestal maar gemeten volgens een "case-control in de tijd" strategie. Een techniek wordt dan in een proefstal geïnstalleerd waarbij via metingen tijdens aan-dagen versus uit-dagen het reductiepercentage wordt bepaald;
- c. het ventilatiedebiet is vastgesteld aan de hand van de CO<sub>2</sub>-balansmethode op grond van metingen van CO<sub>2</sub> in de stal (conform het meetprotocol) maar met een vaste (niet gemeten) achtergrondwaarde voor CO<sub>2</sub> in de buitenlucht;
- d. de achtergrondconcentraties van fijnstof (PM<sub>10</sub>) zijn niet gemeten, hiervoor zijn achtergrondconcentraties gebruikt van het dichtstbijzijnde meetstation in Vredepeel van het Luchtmeetnet (RIVM, 2019).

Voorafgaand aan de fijnstofpilots in de Foodvalley regio zijn deze omissies toegelicht en bediscussieerd met vertegenwoordigers van het Ministerie van IenW en RVO. Afgesproken is dat de meetrapporten uit de fijnstofpilots ingediend mogen worden bij RVO en zullen worden voorgelegd ter beoordeling en advisering door de TAP. Echter, daarbij is eveneens afgesproken dat in de discussie van het meetrapport een analyse en duiding zal plaatsvinden van de extra onzekerheid die de omissies in de fijnstofpilots met zich meebrengen. Op grond van die analyse en duiding, en op grond van de beoordeling en advisering door de TAP, kan er bij vaststelling van het reductiepercentage een onzekerheidsmarge worden afgetrokken van het verkregen resultaat uit een fijnstofpilot. Als een leverancier het reductiepercentage met onzekerheidsmarge wil vervangen door een definitief (d.w.z. betrouwbaarder en waarschijnlijk hoger) reductiepercentage, dan dient een meetrapport van een tweede meetserie op een tweede bedrijfslocatie te worden ingediend bij RVO. In de onderstaande tabel wordt voor een aantal betrouwbaarheidsintervallen de ondergrenzen van de reductiepercentages en de kans dat de reductie hoger is dan deze ondergrens weergegeven. Dit ten opzichte van het gemiddelde reductiepercentage van 35%.

**Tabel 3** Verschillende betrouwbaarheidsintervallen met de kans dat het reductiepercentage hoger is dan de ondergrens en de ondergrens van het reductiepercentage.

Betrouwbaarheidsinterval	Ondergrens reductiepercentage	% Kans dat reductie hoger is dan ondergrens
95%	15,3%	97,5%
90%	19,6%	95%
80%	23,8%	90%
70%	26,3%	85%
60%	28,2%	80%
50%	29,7%	75%

Hierna wordt ingegaan op de onzekerheid die omissies a, b, c en d met zich meebrengen.

*a. Eén i.p.v. twee bedrijfslocaties en zes in plaats van 12 metingen*

Volgens de gehanteerde meetprotocollen moet er bij een case-control meetstrategie gemeten worden op minimaal twee bedrijfslocaties om variatie in de prestatie van de techniek tussen verschillende stallen mee te nemen in het eindreductiepercentage. In dit rapport zijn de resultaten weergegeven van metingen op één bedrijfslocatie. Op deze locatie kan de techniek – om welke reden dan ook – systematisch beter of slechter hebben gepresteerd dan de werkelijke gemiddelde prestatie zoals die theoretisch verkregen zou kunnen worden door de techniek te bemeten op een zeer groot aantal locaties. Enig inzicht in de tussenbedrijfsvariatie van ionisatietechnieken kan verkregen worden uit de meetrapporten van een negatief ionisatiesysteem van de firma Inter Continental (Ysselsteyn, Nederland) beproefd op twee vleeskuikenbedrijven en een positief ionisatiesysteem van de firma ENS Clean Air (Cuijk, Nederland) beproefd in twee leghennenstallen (beide meetrapporten zijn gepubliceerd als wetenschappelijk artikel met hierin individuele reductiepercentages per locatie door Winkel et al., (2016)). T.a.v. de eerste ionisatietechniek bedroeg het gemiddelde PM<sub>10</sub> reductiepercentage 47% met reductiepercentages per bedrijfslocatie van gemiddeld 46% voor bedrijf 1 en 49% voor bedrijf 2. T.a.v. de tweede ionisatietechniek bedroeg het gemiddelde PM<sub>10</sub> reductiepercentage 6% met reductiepercentages per bedrijfslocatie van gemiddeld 12% voor bedrijf 1 en 4% voor bedrijf 2. Deze twee ionisatietechnieken laten dus een vergelijkbaar beeld (kleine tussenbedrijfsvariatie) zien in beide locaties. Voor voornoemde twee technieken geldt dat op de kleinst mogelijke schaal (2 bedrijfslocaties) is laten zien dat het reductiepercentage reproduceerbaar is. Dit kan voor de techniek in dit rapport vergelijkbaar gelden, maar wellicht ook niet. Daarover wordt pas meer inzicht/betrouwbaarheid verkregen door een meetserie bij een tweede bedrijfslocatie uit te voeren.

De keuze in de fijnstofpilots om metingen uit te voeren op één bedrijfslocatie brengt verder met zich mee dat het reductiepercentage van 35% gebaseerd is op één meetserie van zes in plaats van 12 waarnemingen. De gevonden reductie is statistisch significant afwijkend van nul. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval (de bovengrens en ondergrens waartussen voornoemde eindreductiepercentage met 95% zekerheid ligt) bedraagt bij de gevonden reductie ±20 procentpunten. Als echter een volledige dataset van 12 waarnemingen op twee locaties voorhanden zou zijn, en als de spreiding in die dataset gelijk zou blijven aan die in de huidige dataset, dan zou t.g.v. het grotere aantal waarnemingen het 95%-betrouwbaarheidsinterval dalen tot ± 12 procentpunten.

Voor het vaststellen van een onzekerheidsmarge kan ook gebruik worden gemaakt van andere meetseries uit het verleden. In Winkel (2020) is dit gedaan voor de reductiepercentages voor PM<sub>10</sub> van de al in de regelgeving opgenomen technieken. Op basis van die analyse wordt een onzekerheidsmarge voorgesteld van 10 procentpunten ten opzichte van het gemeten bedrijfsgemiddelde. Daarmee is het advies voor deze techniek om een voorlopig reductiepercentage van 25% op te nemen in de landelijke regelgeving.

---

#### *b. Case-control in de tijd strategie i.p.v. fysieke proef- en controlestallen*

Vaak is het moeilijk om twee echt identieke praktijkstallen te vinden, zo ook in deze pilot. Daarom is er gemeten volgens een "case-control in de tijd" strategie. Een techniek wordt dan in een proefstal geïnstalleerd waarbij via metingen tijdens aan-dagen versus uit-dagen het reductiepercentage wordt bepaald. Zowel de case-control als de case-control in de tijd strategie kennen hun voordelen en aandachtspunten. Bij twee identieke stallen worden in de praktijk toch vaak kleine (systematische) verschillen gezien in binnenklimaat en luchtkwaliteit, bijvoorbeeld doordat de ene stal overwegend in de luwte van de andere staat of er kleine verschillen bestaan in de klimaatregeling. Ook bij identieke stallen bestaan er soms verschillen in dierprestaties (bijvoorbeeld in uitval) en verschilt de natheid van het strooisel t.g.v. de vertering door de dieren. Zulke kleine verschillen kunnen worden geneutraliseerd door de behandeling telkens te wisselen tussen stallen. Dit is echter met technische systemen die moeten worden ingebouwd een kostbare, tijdrovende en onpraktische werkwijze. In een case-control in de tijd strategie bestaan voornoemde onzuiverheden tussen stallen niet. De stal waar de proefbehandeling wordt toegepast is kort daarvoor, of kort daarna, ook de stal waar de controlemeting wordt verricht. Bij deze strategie zijn er twee aandachtspunten: de aan-meting en de uit-meting dienen zo dicht mogelijk bij elkaar te worden uitgevoerd om te grote verschillen in met name ventilatiedebiet te voorkomen en de aan- en uit-perioden mogen elkaar niet beïnvloeden. Indien aan deze voorwaarden wordt voldaan is de case-control in de tijd strategie een voldoende zuivere vergelijkingsbasis. De case-control in de tijd strategie is in de laatste versies van de Nederlandse meetprotocollen nog niet opgenomen, de strategie komt wel voor in het VERA-protocol voor "Livestock housing and management systems" (VERA, 2018b). De strategie is verder bij metingen aan reductietechnieken voor fijnstof de afgelopen jaren veel toegepast. Resultaten verkregen met deze strategie zijn geaccepteerd in peer-reviewed wetenschappelijke tijdschriften en door de rijksoverheid geaccepteerd voor opname in de officiële "Lijst Emissiefactoren fijnstof voor veehouderij". Hier behoeven de Nederlandse protocollen een update.

#### *c. Gevoeligheidsanalyse voor geen plaatselijke meting van CO<sub>2</sub>-achtergrondconcentraties*

Er is bij deze metingen voor gekozen om geen concentraties van CO<sub>2</sub> in de directe nabijheid van de stal te meten. In plaats daarvan is voor CO<sub>2</sub> gekozen voor een vaste waarde van 400 ppm die in werkelijkheid tot enkele tientallen ppm's hoger of lager zou kunnen zijn geweest. Om het effect van een lagere of hogere CO<sub>2</sub>-achtergrond inzichtelijk te maken is het reductiepercentage nogmaals doorgerekend op basis van een zeer lage vaste achtergrond van 300 ppm én een zeer hoge vaste achtergrond van 500 ppm (deze achtergrondconcentraties werken door in de berekening van het ventilatiedebiet middels de CO<sub>2</sub>-balansmethode en vervolgens in de emissieberekeningen en het reductiepercentage). De aldus verkregen reductiepercentages bedroegen 35,3% bij 300 ppm, 35,4% bij 400 ppm en 35,6% bij 500 ppm. Uit deze gevoeligheidsanalyse blijkt dat het reductiepercentage nauwelijks wordt beïnvloed door de gekozen vaste achtergrond voor CO<sub>2</sub>. Dit komt doordat a) het concentratieverschil tussen binnen en buiten groot is, en b) de kleine "fout" bij het berekenen van het ventilatiedebiet op zowel case- als controledagen wordt gemaakt. Bij lagere concentratieverschillen tussen binnen en buiten, en bij het bemeten van een absolute emissiefactor, dient overigens altijd een CO<sub>2</sub>-achtergrond te worden bepaald.

#### *d. Gevoeligheidsanalyse voor geen plaatselijke meting van PM<sub>10</sub>-achtergrondconcentraties*

Er is bij deze metingen voor gekozen om geen concentraties van PM<sub>10</sub> in de directe nabijheid van de stal te meten. In plaats daarvan is voor PM<sub>10</sub> de gemiddelde concentratie tijdens de meetdagen van het dichtstbijzijnde meetstation van het RIVM gebruikt. Om het effect van een lagere of hogere PM<sub>10</sub>-achtergrond inzichtelijk te maken is het reductiepercentage nogmaals doorgerekend op basis van een verlaging of verhoging van de PM<sub>10</sub>-achtergrondconcentratie met 20 µg/m<sup>3</sup> (deze achtergrondconcentraties werken door in de emissieberekeningen en het reductiepercentage). Ten opzichte van het gemiddelde van 35,4% neemt het reductiepercentage met 0,1% toe of af als de buitenconcentratie 20 µg/m<sup>3</sup> respectievelijk hoger of lager is. Uit deze gevoeligheidsanalyse blijkt dat het reductiepercentage nauwelijks wordt beïnvloed door de PM<sub>10</sub>-achtergrondconcentratie. Dit komt doordat a) het concentratieverschil tussen binnen en buiten groot is, b) de kleine "fout" bij het berekenen van de emissie op zowel case- als controledagen wordt gemaakt, en c) de windrichting op beide meetdagen per aan-uit meting vergelijkbaar is geweest (zie tabel 1). Bij lagere concentratieverschillen tussen binnen en buiten en bij het bemeten van een absolute emissiefactor, dient overigens altijd een PM<sub>10</sub>-achtergrond te worden bepaald.

---

Hierna wordt nog ingegaan op een aantal algemene discussiepunten.

#### *Verdeling metingen over jaar en productieperiode*

Uit paragraaf 3.1 blijkt dat de metingen niet helemaal evenwichtig verdeeld zijn over alle fasen van het kalenderjaar. Dit is enerzijds inherent aan een meetserie van zes geslaagde metingen. Anderzijds had de pilot te maken met incidenten in de sector, leegstand van het bedrijf door het afleveren en weer opzetten van dieren en het uitvallen van meettechnici door ziekte. Omdat de metingen niet zijn gericht op het vaststellen van een absolute emissiefactor maar op een reductiepercentage, en omdat het werkingsprincipe van ionisatietechnieken waarschijnlijk niet wordt beïnvloed door seizoensinvloeden, is de onzekerheid die deze omissie veroorzaakt waarschijnlijk klein.

#### *Landbouwkundige voorwaarden*

De metingen voldoen grotendeels aan de landbouwkundige voorwaarden beschreven in bijlage 2. Zoals aangegeven in paragraaf 3.1 is op twee meetdagen de gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie hoger geweest dan 3.000 ppm. Maar dit is gemeten in de ruimte voor de droogtunnel. De gemiddelde waarden van de binnentuin, waar het meetpunt voor de stofconcentratie is gesitueerd, is altijd lager geweest dan 3.000 ppm. Dit wordt voor een groot deel veroorzaakt door het feit dat de hennen maar een beperkt deel van de 24 uur toegang hadden tot deze ruimte. De afwezigheid tijdens de nacht zorgt dan voor een lage concentratie bij het meetpunt daar. In de nachtverblijven zal de CO<sub>2</sub>-concentratie bij deze metingen wel hoger zijn geweest dan de norm van 3.000 ppm.

Verder was het uitvalspercentage tijdens het uitvoeren van de metingen al gestegen tot 8%. Uiteindelijk is dit ruim 16% geworden, fors hoger dan opgenomen in de landbouwkundige voorwaarden. Verwacht wordt echter dat het hogere uitvalspercentage geen effect heeft op de reducerende werking van de ASPRA Agro. Het aantal hennen was namelijk nagenoeg gelijk tijdens de dagen met de aan- en uit-meting.

#### *Stabilisatietijd*

Tijdens twee metingen is de stabilisatietijd van minimaal één uur niet in acht genomen. Op basis van de reductiepercentages van de andere metingen, is er geen reden deze metingen te laten vervallen.

#### *Effect nevelkoeling op werking ASPRA Agro*

Zoals aangegeven in paragraaf 3.1 is meting 4 geëxcludeerd vanwege onbetrouwbaarheid van de resultaten. De oorzaak ligt o.a. in de positionering van één van de nevelkoelers. De waternevel komt in de directe omgeving van de aanzuigopening van de dichtstbijzijnde ASPRA Agro. Vocht dat in de ASPRA Agro komt, heeft als effect dat het stof meer vastkoekt aan de binnenkant van de buitenmantel. En ook dat deze stoflaag vochtiger wordt. Afhankelijk van de laagdikte en vochtigheid kan doorslag van de elektrostatische lading ontstaan, waardoor de interne beveiliging ingrijpt en de ionisatie automatisch stopt. Deze situatie heeft zich voorgedaan in de periode voorafgaand aan meting 4, uitgevoerd op 12 tot 14 augustus 2019. In 2019 hebben zich twee hittegolven voorgedaan: van 22 t/m 27 juli en van 23 t/m 28 augustus. Op 25 juli 2019 zijn in Nederland buitentemperaturen gemeten rond en boven 40 °C. In die periode zal de nevelkoeling zeker zijn ingeschakeld, met waarschijnlijk toen al het hierboven beschreven effect bij één van de units. Bij een onderhoud uitgevoerd op 20 november 2019 bleek deze unit namelijk uitgeschakeld vanwege een interne storing. Dit is niet waargenomen door de pluimveehouder. Ook niet door de meettechnicus. De ventilator voor de interne circulatie wordt namelijk niet uitgeschakeld, alleen de ionisatie. Het is dus mogelijk dat de ionisatie van deze ASPRA Agro tijdens zowel meting 4 als 5 was uitgeschakeld door de interne beveiliging<sup>5</sup>. Deze ASPRA Agro is een van beide units naast de meetlocatie in de stal (zie figuur 2.2).

Hoewel meting 5 een technisch goed verlopen meting is, kan het zijn dat de resultaten beïnvloed zijn door het effect van de nevelkoeling op de werking van de ASPRA Agro's. Dit is niet meer te achterhalen, behalve door de constatering van de leverancier tijdens het onderhoud dat de hiervoor genoemde ASPRA Agro door een interne storing automatisch was uitgeschakeld en via foto's gemaakt

---

<sup>5</sup> Overigens worden, om te voorkomen dat ASPRA Agro's dergelijke lange periodes niet ioniseren, nieuwe systemen voorzien van een centraal monitoringssysteem waarmee de units van buiten de stal in de gaten gehouden worden en foutmeldingen sneller opgemerkt, doorgegeven en verholpen.

---

tijdens dit onderhoud van de betreffende unit (zie bijlage 7). Als de resultaten van meting 5 ook worden geëxcludeerd, wordt het gemiddelde gemeten reductiepercentage afgerond 43%.

#### *Metingen zonder aanwezigheid dieren*

Binnen dit onderzoek is geprobeerd enig inzicht te krijgen in het effect van de aan-/afwezigheid van hennen in de binnentuin - en de daarmee samenhangende fijnstofbelasting - op de prestaties van de ASPRA Agro's (zie paragraaf 3.4). Dit inzicht is belangrijk omdat de emissiereducties uit tabel 1 bepaald zijn op basis van gravimetrische concentraties over 24 uur waarbij in de nacht echter geen hennen aanwezig waren in de binnentuin. De resultaten uit deze kleine dataset van twee metingen suggereren dat de prestatie van de ASPRA Agro's weinig of niet beïnvloed wordt door de stofbelasting van de apparaten. Dit is in overeenstemming met de analyse van de hoofddataset in figuur 3.5C. Op basis van voornoemde data is het waarschijnlijk dat het in dit onderzoek gemeten reductiepercentage ook zal worden gerealiseerd als de techniek wordt geplaatst in een ruimte waar dieren continu aanwezig zijn.

#### *Niet-representatieve ventilatiegebieten*

Hoewel de metingen op case-dagen en control-dagen bij een zuivere vergelijkingsbasis zijn uitgevoerd (d.w.z. bij zeer vergelijkbare temperaturen, relatieve luchtvochtigheden en ventilatiegebieten), moet opgemerkt worden dat de vergelijking is verricht voor een set metingen bij (zeer) lage ventilatiegebieten. De ASPRA Agro's verwijderen fijnstof uit de lucht dat door de units wordt gezogen. Dit betekent dat de recirculatie door de ASPRA Agro's moet "opboksen" tegen de totale ventilatiestroom door het gebouw. Bij lagere ventilatieniveaus door het gebouw wordt het aandeel door de ASPRA Agro's gerecirculeerde en behandelde lucht relatief groot en zullen relatief hogere emissiereductie gevonden worden. Bij hogere ventilatieniveaus door het gebouw wordt het aandeel door de ASPRA Agro's gerecirculeerde en behandelde lucht relatief klein (immers, een groter deel van de ventilatielucht zal onbehandeld van inlaat naar emissiepunt kunnen stromen) en zullen relatief kleine tot wellicht niet meer meetbare emissiereducties worden gevonden. Dit is een generiek aandachtspunt voor alle stof reducerende technieken die werken met een recirculatiestroom door de techniek. Hoewel er dus sprake was van een zuivere vergelijkingsbasis, schetsen de resultaten uit dit rapport waarschijnlijk een onvoldoende representatief beeld van de prestaties van de techniek over de hele range van normale ventilatiegebieten die gedurende het jaar en productieronde voorkomen. Dit specifieke aspect van emissie reducerende technieken met luchtrecirculatie bemoeilijkt ook de vertaling van de gevonden emissiereductie bij leghennen (ventilatieniveaus < 2 m<sup>3</sup>/uur per dier) naar bijvoorbeeld vleeskuikens en kalkoenen (exponentieel toenemend ventilatiegebied, van nul tot aanzienlijk hogere waarden). Onduidelijk is wat de emissiereductie van de techniek is over de hele range van ventilatiegebieten die gedurende het jaar en productieronde bij vleeskuikens en kalkoenen voorkomen.

#### *Andere meetrapporten*

Er zijn bij deze techniek geen andere metingen uitgevoerd conform meetprotocollen voor het beproeven van fijnstof reducerende technieken in stallen (Ogink et al., 2011). Wel heeft de leverancier metingen laten uitvoeren aan een ander type van de ionisatie-unit in een leghennenstal. Deze uitvoering kent een verticaal geplaatste koker, maar de werking is identiek aan die van de ASPRA Agro. Er zijn echter slechts twee metingen uitgevoerd met niet gevalideerde meetapparatuur waarbij proef- en referentiemeting binnen één paartje meerdere weken uit elkaar lagen hetgeen een matig zuivere vergelijkingsbasis is. Het gemiddelde reductiepercentage uit deze metingen bedroeg 56% (Van Onzenoort en De Bree, 2017). Deze metingen zijn niet conform het meetprotocol uitgevoerd en met niet gevalideerde meetapparatuur.

#### *Neveneffecten en afwenteling*

##### **PM<sub>2.5</sub>**

In dit onderzoek zijn geen metingen verricht naar de reductie van PM<sub>2.5</sub>.

##### **Ozon**

Ionisatie kan leiden tot de productie van ozon. In de studie van Cambra-López et al. (2009) is de ozonconcentratie altijd onder de minimale detectiewaarde gebleven. Alleen bij hele lage



---

ventilatiegebieten, zoals bij jonge vleeskuikens, kon een bepaalde ozongeur waargenomen worden. Zodra de ventilatie minimaal begon te draaien waren er geen aanwijzingen meer voor de aanwezigheid van ozon. Dit betrof een ionisatiesysteem op basis van negatieve ionisatie. De onderzochte techniek maakt gebruik van positieve ionisatie. Daarbij treedt ozonvorming minder op.

### **Methaan/lachgas**

Voor zover bekend heeft ionisatie geen effect op het ontstaan of verwijderen van methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O) uit stallucht. Hieraan zijn in dit project ook geen metingen verricht.

### **Brandgevaar**

Onderzoek uitgevoerd naar het brandgevaar van een andere ionisatietechniek gaf aan dat de kans op een stofexplosie door ontladingen van het ionisatiesysteem verwaarloosbaar klein is (de Feijter en Reijman, 2014). Er zijn geen redenen voor een hoger gevaar bij het ionisatiesysteem beschreven in dit rapport. Ook omdat het stof regelmatig wordt verwijderd uit de units.

### **Elektromagnetische velden**

De hoge spanning toegepast bij ionisatie zorgt voor een elektromagnetisch veld, wat mogelijk zorgt voor gezondheidseffecten bij mens en dier. In dit rapport is geen verder onderzoek gedaan naar het optreden hiervan bij dit ionisatiesysteem. Aangenomen mag worden dat leverancier het systeem dusdanig uitvoert dat dit geen schadelijke effecten tot gevolg zal hebben. Ook wordt de ionisatie toegepast binnen een metalen huls. Het optreden van elektromagnetische velden wordt daarmee voorkomen.

### *Vertaling naar andere pluimveecategorieën*

De ASPRA Agro is binnen de pluimveehouderij in ieder geval toepasbaar bij leghennen. Daarnaast zou het systeem toegepast kunnen worden bij de andere diercategorieën binnen de hoofdcategorie kippen van de Rav en bij kalkoenen omdat de techniek niet onderhevig lijkt te zijn aan effecten van fijnstofconcentratie in de stal of productiestadium.

De strooiselkwaliteit van vleeseenden verschilt van die van leghennen en vleeskuikens in met name het drogestofgehalte (ca. 30% t.o.v. >50%). Tevens wordt in de tweede helft van de groeiperiode, na overplaatsing van de dieren naar een andere stal, dagelijks nieuw strooisel aangebracht. Toepassing van het systeem tijdens de eerste fase van de groeiperiode, voor overplaatsen, zou daarmee mogelijk zijn. Of tijdens de tweede fase van de groeiperiode eenzelfde effect wordt bereikt zal met metingen moeten worden onderzocht.

---

## 5 Conclusie

In deze pilot is de reductie van de fijnstofemissie bepaald van de ASPRA Agro techniek van de firma's VFA Solution en Smits Breda, toegepast bij leghennen gehuisvest in de Kipsterstal te Venray, waarbij een "case-control in de tijd" strategie is toegepast. Op basis van zes metingen verspreid over het jaar en de productieperiode, is een emissiereductie gevonden van gemiddeld 35%. Deze reductie is statistisch significant verschillend van nul. Als de (technisch geslaagde) meting nr. 5, waarbij een van de ASPRA Agro's mogelijk niet goed heeft gefunctioneerd, buiten beschouwing wordt gelaten, bedraagt de gemeten gemiddelde reductie 43%.

De techniek verwijdert stof uit een specifieke luchtstroom door de techniek (recirculatie). Daarmee is de emissiereductie afhankelijk van de verhouding van de mate van recirculatie tot het ventilatieniveau van de stal. Voor een juiste inschatting van de prestaties van de techniek is het van belang dat er wordt gemeten bij zowel lage, gemiddelde als hoge ventilatiedebieten. In dit meettraject zijn alleen lage ventilatiedebieten voortgekomen, hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door hoge stofbelasting van absoluutfilters (geen onderdeel van de beproefde techniek) waar alle stalventilatie doorheen werd gevoerd. De resultaten in dit rapport schetsen daarmee geen representatief beeld van de prestaties van de techniek. Dit bemoeilijkt ook de vertaling van de resultaten naar andere diercategorieën dan leghennen waarbij de metingen zijn uitgevoerd. Aanbevolen wordt om de in dit project verkregen dataset aan te vullen met metingen bij hogere ventilatiedebieten.

---

# Literatuur

- Aarnink, A.J.A., Cambra-López, M., Lai, H.T.L., Ogink, N.W.M. 2011. Deeltjesgrootteverdeling en bronnen van stof in stallen. Rapport 452. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Cambra-López, M., Winkel, A., Van Harn, J., Ogink, N. W. M., & Aarnink, A. J. A. (2009). Ionization for reducing particulate matter emissions from poultry houses. *Transactions of the ASABE*, 52(5), 1757-1771.
- Cambra-Lopez, M. ; Winkel, A. ; Mosquera Losada, J. ; Ogink, N.W.M. ; Aarnink, A.J.A. 2015. Comparison between light scattering and gravimetric samplers for PM10 mass concentration in poultry and pig houses. *Atmos. Environ.* 111:20-27. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- CEN. 2014. Ambient air - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM10 or PM2,5 mass concentration of suspended particulate matter. Brussel, België: European Committee for Standardization (CEN).
- CIGR. 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S. and K. Sällvik). International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), Section II.
- Feijter de, M. P., & Reijman, P. B. (2014). Brandveiligheid stofafvangsystemen in kippenstallen. Efectis Nederland.
- Gezondheidsraad. 2018. Gezondheidswinst door schonere lucht. Den Haag: Gezondheidsraad.
- Hagenaars, T., Hoeksma, P., de Roda-Husman, A.M., Swart, A., Wouters, I. 2017. Veehouderij en Gezondheid Omwonenden (aanvullende studies). Analyse van gezondheidseffecten, risicofactoren en uitstoot van bioaerosolen. Rapport 2017-0062. Bilthoven: RIVM.
- Heederik D.J.J. & IJzermans, C.J.. 2011. Mogelijke effecten van intensieve-veehouderij op de gezondheid van omwonenden: onderzoek naar potentiële blootstelling en gezondheidsproblemen. Utrecht: IRAS-UU. Utrecht: NIVEL. Bilthoven: RIVM.
- Heederik, D., Erbrink, H., Farokhi, A., Hagenaars, T., Hoek, G., Ogink, N., de Rooij, M., Smit, L., Winkel, A., Wouters, I. Risicomodellering veehouderij en gezondheid (RVG): modellering van regionale endotoxineconcentraties en relaties met gezondheidseffecten. Rapport IRAS UU 2019-01 / WBVR-1910304. Utrecht: Institute for Risk Assessment Sciences. Lelystad: Wageningen Bioveterinary Research.
- Hendriks, C., Kranenburg, R., Kuenen, J., van Gijlswijk, R., Wichink Kruit, R., Segers, A., Denier van der Gon, H., Schaap, M. 2013. The origin of ambient particulate matter concentrations in the Netherlands. *Atmos. Environ.* 69:289-303.
- IJzermans, C.J., Smit, L.A.M., Heederik, D.J.J., Hagenaars, T.J. 2018. Veehouderij en gezondheid omwonenden III: longontsteking in de nabijheid van geiten- en pluimveehouderijen; actualisering van gegevens uit huisartspraktijken 2014-2016. Utrecht: NIVEL.
- Maassen, K., Smit, L., Wouters, I., van Duijkeren, E., Janse, I., Hagenaars, T., IJzermans, J., van der Hoek, W., Heederik, D. 2016. Rapport 2016-0058. Bilthoven, Nederland: RIVM.
- Ogink, N. W. M., P. Hofschreuder, A. J. A. Aarnink. 2011. Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 492. Lelystad: Wageningen University and Research Centre, 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.
- Onzenoort, R. van en F. de Bree, 2017. Emissie-onderzoek aan biologische leghennenstal. Bepaling van de geur- en fijnstofemissiereductie door middel van stalluchtreiniging. Buro Blauw, Rapport nr BL2017.7861.01-V1.
- Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Joergensen, H., Chwalibog, A., Haeussermann, A., Heetkamp, M.J.W., Aarnink, A.J.A. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: a literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal*, Vol. X, December 2008. Manuscript BC 08 008.
- Rijksoverheid. 2018. Emissiefactoren fijn stof voor veehouderij. Excelfile online gepubliceerd 15-03-2018. Online beschikbaar op: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2018/03/15/emissiefactoren-fijn-stof-voor-veehouderij-2018>.

- 
- Rijksoverheid. 2019. Bijlage 1, bedoeld in artikel 2, eerste lid, van de Regeling ammoniak en veehouderij. Versie 26 april 2019. Online beschikbaar op: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0013629/2019-04-26#Bijlage1>.
- RIVM. 2019. Stations. Online beschikbaar op: <https://www.luchtmeetnet.nl/stations/alle-provincies/alle-gemeentes/alle-stoffen>
- VERA. 2018a. Vera test protocol for air cleaning technologies. Version 2:2018-09. Delft, the Netherlands: International VERA Secretariat.
- VERA. 2018b. Vera test protocol for livestock housing and management systems. Version 3:2018-09. Delft, the Netherlands: International VERA Secretariat.
- VSN. 2018. GenStat reference manual (release 19). Hemel Hempstead, UK: VSN International Ltd.
- WHO. 2015. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide – Global update 2005. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Winkel, A., J. Mosquera, J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer, N.W.M. Ogink, A.J.A. Aarnink. 2009a. Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in volièrehuisvesting. Rapport 278. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Winkel, A., Emous, R.A. van, Kwikkel, R.K., Ogink, N.W.M., Aarnink, A.J.A. 2009b. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: ionisatie bij leghennen in volièrehuisvesting. Rapport 285. Lelystad: Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Winkel, A., Nijeboer, G.M., Huis in 't Veld, J.W.H., Ogink, N.W.M. 2013. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een ionisatiesysteem op leghennenbedrijven. Rapport 685. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Winkel, A., Wouters, I.M., Aarnink, A.J.A., Heederik, D.J.J., Ogink, N.W.M. 2014. Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: een literatuurstudie voor ontwikkeling van een toetsingskader. Rapport 773. Wageningen: Wageningen Livestock Research.
- Winkel, A., Llorens Rubio, J., Huis in 't Veld, J.W.H., Vonk, J.A., Ogink, N.W.M. 2015a. Equivalence testing of filter-based, beta-attenuation, TEOM, and light-scattering devices for measurement of PM<sub>10</sub> concentration in animal houses. J. Aeros. Sci. 80:11-26.
- Winkel, A., Mosquera Losada, J., Groot Koerkamp, P.W.G., Ogink, N.W.M., Aarnink, A.J.A. 2015b. Emissions of particulate matter from animal houses in the Netherlands. Atmos. Environ. 111:202-212.
- Winkel, A. 2016. Particulate matter emission from livestock houses: measurement methods, emission levels and abatement systems. PhD Thesis. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University & Research.
- Winkel, A., Mosquera Losada, J., Aarnink, A.J.A., Groot Koerkamp, P.W.G., Ogink, N.W.M. 2016. Evaluation of oil spraying systems and air ionisation systems for abatement of particulate matter emission in commercial poultry houses. Biosyst. Eng. 150:104-122.
- Winkel, A. Ogink, N.W.M. 2020. Berekening van een onzekerheidsmarge voor fijnstof reducerende technieken bemeten bij één in plaats van twee bedrijfslocaties. Wageningen Livestock Research, Rapport 1239.
- Zhao, Y., A.J.A. Aarnink, P. Hofschreuder, P.W.G. Groot Koerkamp, 2009. Evaluation of an impaction and a cyclone preseparator for sampling high PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations in livestock houses. Aeros. Sci. 40:868-878.

# Bijlage 1 Beschrijving stal

Kenmerk	Beschrijving
<i>Stal</i>	
Bouwjaar	2017
Rav code en omschrijving	E 2.11.3 volièrehuisvesting, 30-35 % van de leefruimte roosters met daaronder een mestband met 0,7 m <sup>3</sup> per dier per uur mestbeluchting. Mestbanden minimaal eenmaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages (BWL 2005.04.V1)
Emissiefactoren (nog niet bekend)	Emissie PM10: 65 g/dierplaats per jaar Emissie ammoniak: 0.037 kg/dierplaats per jaar Emissie geur: 0.34 OUE/dierplaats per seconde
Afmetingen (l x b)	100 x 24 m (gebouw), 100 x 8 m (uitloop x 2)
Oriëntatie van de stal	Oost (voorgevel) – West (achtergevel)
<i>Dieren</i>	
Aantal hennen bij opzet	24.000
Bezettingsgraad bij opzet	Totaal leefoppervlak 4.000 m <sup>2</sup> = 6 hennen per m <sup>2</sup> Aandeel strooiseloppervlak; 2.500 m <sup>2</sup> , aandeel roosteroppervlak; 1.500 m <sup>2</sup> (Het aandeel strooiseloppervlak staat gelijk aan het voor de dieren beschikbare staloppervlak.)
Merk hen	Dekalb wit
<i>Klimaatregeling</i>	
Beschrijving luchtinlaat	Via openingen in beide zijgevels, over de lengte van de stal, tussen beide nachtverblijven en uitloop komt de lucht de stal binnen. Daarnaast is er mestbandbeluchting aanwezig.
Beschrijving luchtuitlaat	Een deel van de lucht in beide nachtverblijven wordt via gevelventilatoren naar de ruimte voor de tunnel geblazen. Wanneer de binnentuin open is voor de hennen zal de meeste lucht via de binnentuin naar de achtergevel worden gezogen. Een deel van deze lucht gaat via 4 grote stoffilters naar de uitlaatruiimte. Een ander deel wordt in de ruimte voor de droogtunnel geblazen. Deze lucht gaat via de droogtunnel naar de ruimte na de tunnel en van hier gaat deze lucht via 4 stoffilters naar de uitlaatruiimte. In de gevel van de uitlaatruiimte zijn 9 dakventilatoren aanwezig voor de afvoer van de lucht naar buiten.
Ventilatieregeling	Op basis van staltemperatuur en onderdruk
Streeftemperatuur	21 °C
Verwarmingssysteem	Wisselaar + pomp, ingezet voor opwarmen lucht voor mestbandbeluchting.
<i>Bedrijfsvoering</i>	
Beschrijving houderijsysteem	Centraal in de stal ligt een binnentuin die voor de hennen toegankelijk is van 10:00 tot 19:30 uur. Aan weerszijden van de binnentuin zijn 2 nachtverblijven aanwezig met etages en nestkasten. Via de nachtverblijven kunnen de hennen overdag naar de buitenrennen (vrije uitloop) aan beide kanten van de stal (afgesloten tijdens de meetdagen).
Beschrijving voersysteem	In beide nachtverblijven 3 voerlijnen
Voertijden	4:00 – 7:00 – 8:00 – 10:30 – 13:00 – 15:30 – 18:00 – 19:00 uur
Voer	Speciaal ontwikkeld kippenvoer uit restanten van bijvoorbeeld bakkerijen. Het voer bestaat voor 97% uit restjes en 3% uit vitaminen en mineralen
Beschrijving drinkwatersysteem	Waterlijnen met drinknippels en lekschoteltjes: 3 lijnen in beide nachtverblijven
Drinktijden	11:00 en 20:00 uur
Strooiselmanagement	Houtkrullen (2 cm) + mest + luzerne
Beschrijving verlichting	Daglicht + LED-licht als het buiten donker is
Lichtregime	16L:8D
Schoonmaakregime	Nat reinigen en ontsmetten
<i>Productiecyclus</i>	
Leeftijd bij opzet	17 weken

---

Leeftijd bij ruimen  
Leegstand tussen koppels

---

85 weken  
1 week

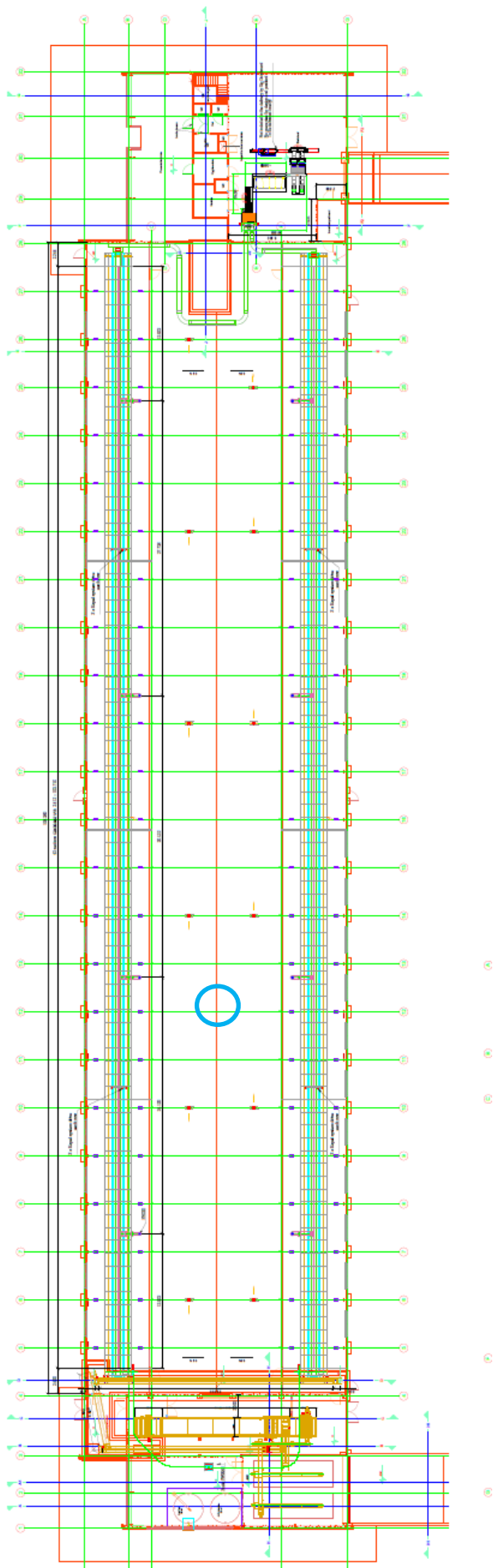
---



*Luchtfoto bedrijf.*



*Luchtfoto bedrijf met wijdere omgeving.*



Plattegrond van de stal. De locatie van de metingen in de binnentuin is aangegeven met de blauwe cirkel.





*Foto noordzijde stal.*



*Foto zuidzijde stal met vrije uitloop (niet in gebruik tijdens meetdagen).*





*Foto binnentuin met ASPRA Agro en inkijk in nachtverblijf.*



*ASPRA Agro met aanzuigzijde.*





*Achterwand binnentuin met ventilatoren naar de droogtunnel, aanzuigkanalen vanuit de nachthokken naar de droogtunnel en absoluutfilters naar 'drukkamer' met hoofdventilatoren.*



*Plaats van meten in een van beide nachthokken. Links achter het rooster zit het aanzuigkanaal naar de ruimte voor de droogtunnel.*



*Links: plaats van meten inde ruimte voor de hoofdventilatoren. Rechts: buitenaanzicht met de hoofdventilatoren in het dakvlak.*

## Bijlage 2 Landbouwkundige voorwaarden

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 CO2-concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft.	Op twee kleine overschrijdingen na
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.  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, deze gehalten hebben geen effect op fijnstofemissie  Ja, deze gehalten hebben geen effect op fijnstofemissie
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.	Wel tijdens de metingen. Het uiteindelijke uitvalspercentage was ruim 16%.
Aantal dieren	De groepsgrootte bedraagt minimaal 750	Ja
Registratie	Gedurende vier weken voorafgaand aan de meting: <ul style="list-style-type: none"> <li>- totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling/stal</li> <li>- totaal aantal kg verstrekt strooisel in de afdeling/stal</li> <li>- totale hoeveelheid watervverbruik in de meetafdeling/stal</li> <li>- aanwezige + ingaande en uitgaande dieren (ook tijdens de meting)</li> </ul> Tijdens de meting: <ul style="list-style-type: none"> <li>- produktie: aantal eieren, eigewicht en uitval</li> <li>- voeropname</li> <li>- tijdstippen van verwijderen van (drijf)mest uit de afdeling/stal</li> <li>- registratie van voersamenstelling</li> <li>- CO2-concentratie</li> <li>- de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen</li> </ul>	Nee, deze kengetallen hebben nauwelijks effect op de reductie van fijnstof          Ja

# Bijlage 3 Overzicht alle meetdata

Variabele ([eenheid])	Meting 1		Meting 2		Meting 3		Meting 4		Meting 5		Meting 6		Meting 7	
	Uit	Aan	Uit	Aan	Uit	Aan	Uit	Aan	Uit	Aan	Uit	Aan	Uit	Aan
<b>Algemeen</b>														
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	23-10-2018	24-10-2018	20-11-2018	21-11-2018	27-5-2019	28-5-2019	12-8-2019	13-8-2019	18-9-2019	19-9-2019	26-11-2019	27-11-2019	20-1-2020	21-1-2020
Tijd start meting [hh:mm]	11:55	12:30	11:50	12:45	9:45	10:45	12:30	12:30	9:00	10:00	9:00	10:00	9:30	10:45
Datum einde meting [dd-mm-yyyy]	24-10-18	25-10-18	21-11-18	22-11-18	28-05-19	29-05-19	13-08-19	14-08-19	19-sep	20-9-2019	27-9-2019	28-11-2019	21-1-2020	22-1-2020
Tijd einde meting [hh:mm]	11:55	12:30	11:50	12:45	9:45	10:45	11:50	12:45	9:00	10:00	9:00	10:00	9:30	10:45
Dagnummer in jaar [#]	296	297	324	325	147	148	224	225	261	262	330	331	20	21
<b>Productiekentallen</b>														
Opzetdatum dieren [dd-mm-yyyy]	26-09-17		26-09-17		15-01-19		15-01-19		15-01-19		15-01-19		15-01-19	
Ras	DEKALB White		DEKALB White		DEKALB White		DEKALB White		DEKALB White		DEKALB White		DEKALB White	
Dagnummer in productieronde	392	393	420	421	132	133	209	210	246	247	315	316	370	371
Aantal dieren opblaas	22972	22976	22730	22721	23571	23565	23262	23260	23101	23096	22709	22700	22060	22044
Uitval cumulatief [%]	4,2	4,2	5,2	5,2	1,8	1,8	3,1	3,1	3,7	3,8	5,3	5,4	8,1	8,2
Dierengewicht [g]	1710	1711	1693	1705	1720	1720	1729	1729	1718	1718	1725	1725	1728	1728
Voeropname [g/dier per dag]	111	111	120	120	114,5	114,5	117,4	117,4	118,7	118,7	125	126	127	125
Wateropname [mL/dier per dag]	209	209	220	220	263	263	257	257	258	258	246	246	249	240
Water/voer-verhouding	1,9	1,9	1,8	1,8	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	2,17	2,0	1,95	2,0	1,92
Legpercentage	89,5	89,2	84,3	84,2	92,1	92,1	95,1	95,1	94	94	90	90	86	86
Gemiddeld eigewicht [g]	60	59,6	59,8	60,1	55,8	55,8	58,7	58,7	59	59	61	61	61	61
<b>Buitenluchtcondities</b>														
Gem. temperatuur (KNMI) [°C]	12,8	13,1	2,8	2,2	13,4	12,7	13,9	15,4	15,6	15,2	10,2	10	0,45	0,65
Gem. Relat. luchtvochtigheid (KNMI) [%]	85	87	86	90	72	71	81	79	88	82	89	89	99	99
Windrichting [KNMI]	W,WNW	WNW,WZW	O,O	O,O	W,N	N,Z	ZW,WZW	WZW,Z	NW,NNO	NNO,O	Z,ZO,Z	Z,WZW	ZZW,ZZW	ZZW,ZW
Achtergrond PM10 (UML) [µg/m³]	15,8	14,5	32,3	35,5	10,6	9,6	11,0	8,6	11,7	9,4	7,6	5,2	10,0	8,1
Achtergrond PM2.5 (UML) [µg/m³]	6,9	9,2	26,6	27,0	6,3	8,3	6,7	6,7	5,35	4,9	7,2	4,7	14,36	20,55
<b>Stalllucht en ventilatie</b>														
Luchttemperatuur; gemiddelde [°C]	22,6	23,2	15,4	16,4	28,1	24,9	18,0	25,8	24,4	23,9	22,5	22,0	17,9	18,1
Luchttemperatuur; minimum [°C]					22,2	20,1	12,7	21,3	18,2	18,0	18,3	19,0	13,9	14,9
Luchttemperatuur; maximum [°C]					37,9	29,7	25,9	35,8	34,4	32,2	25,6	26,2	22,9	22,3
Relatieve luchtvochtigheid [%]	64	67	73	73	56	63	56	60	59	59	71	71	84	83
CO <sub>2</sub> -concentratie binnentuin [ppm]	1521	1551	1670	1717	1915	2023	1446	1554	1919	2072	1946	1509	2549	2644
CO <sub>2</sub> -concentratie voor droogtunnel [ppm]	1786	1794	3046	2950	2151	2188	1540	1621	2112	2278	2319	1938	2885	3021
Ventilatiedebiet [m³/h per dier]	1,54	1,53	0,79	0,83	1,21	1,19	1,89	1,76	1,25	1,14	1,12	1,40	0,86	0,82
<b>Fijnstofconcentraties en -emissies</b>														
Concentratie PM10 [µg/m³]	7270	3526	4352	3493	7766	4642	4202	5059	7267	6955	1921	1188	2859	1267
Concentratie PM10 abs. [µg/m³]		3744		859	3125	3125	-857			312		733		1592
Concentratiereductie PM10 rel. [%]		51,5		19,7	40,2	40,2	-20,4			4,3		38,2		55,7
Gem. emissie PM10 [g/dier per jaar]	98	47	30	25	83	48	69	78	80	69	19	14	21	9
Emissiereductie PM10 abs. [g/dier per jaar]		51	5	5	34	34	-9			10		4		12
Emissiereductie PM10 rel. [%]		51,9		16,5	41,5	41,5	-12,5			12,8		22,9		58,1



# Bijlage 4 Resultaten continue metingen

RESULTATEN KIPSTER metingen met DustTrak														
Variabele [eenheid]	METING 6							METING 7						
	UIT				AAN			UIT				AAN		
	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	voor tunnel	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	voor tunnel	binnen- tuin	nachth Z	voor tunnel
<b>Algemeen</b>														
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	26-11-2019				27-11-2019			20-1-2020				21-1-2020		
Tijd start meting [hh:mm]	9:00				10:00			9:30				10:40		
Datum einde meting [dd-mm-yyyy]	27-11-2019				28-11-2019			21-1-2020				22-1-2020		
Tijd einde meting [hh:mm]	9:00				10:00			9:30				10:40		
<b>Emissie o.b.v. continue 24-uurs meting en CO2-concentratie betreffende ruimte</b>														
CO <sub>2</sub> -concentratie [ppm]	2063	2475	2193	2235	1750	2145	1989	1979	2653	2469	2487	2918	2518	2739
Ventilatie-debiet [m <sup>3</sup> /h per dier]	1,29	1,04	1,20	1,17	1,59	1,23	1,35	1,36	0,95	1,03	1,02	0,85	1,01	0,91
Concentratie PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	3271	8486	2431	716	1791	2252	1493	902	4345	3678	4469	1764	2952	3315
Concentratie afname ASPRA's [µg/m <sup>3</sup> ]					1481	6234	938	-186				2581	726	1154
Concentratie reductie ASPRA's [%]					45,3	73,5	38,6	-26,0				59,4	19,7	25,8
Emissie PM10 [g/dier per jaar]	37	77	25	7	25	24	18	11	36	33	40	13	26	26
Emissie afname ASPRA's [g/dier per jaar]					12	53	8	-3				23	7	14
<b>Emissie reductie ASPRA's [%]</b>					<b>32,6</b>	<b>68,5</b>	<b>30,7</b>	<b>-47,2</b>				<b>63,7</b>	<b>21,6</b>	<b>33,8</b>
<b>Emissie o.b.v. continue 24-uurs meting en CO2-concentratie voor tunnel</b>														
CO <sub>2</sub> -concentratie [ppm]				2235				1979						2725
Ventilatie-debiet [m <sup>3</sup> /h per dier]	1,17	1,17	1,17	1,17	1,36	1,36	1,36	1,36	1,00	1,00	1,00	0,92	0,92	0,92
Concentratie PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	3271	8486	2431	716	1791	2252	1493	902	4345	3678	4469	1764	2952	3315
Concentratie afname ASPRA's [µg/m <sup>3</sup> ]					1481	6234	938	-186				2581	726	1154
Concentratie reductie ASPRA's [%]					45,3	73,5	38,6	-26,0				59,4	19,7	25,8
Emissie PM10 [g/dier per jaar]	33	87	25	7	21	27	18	11	38	32	39	14	24	27
Emissie afname ASPRA's [g/dier per jaar]					12	60	7	-3				24	8	12
<b>Emissie reductie ASPRA's [%]</b>					<b>36,5</b>	<b>69,2</b>	<b>28,6</b>	<b>-46,4</b>				<b>62,8</b>	<b>26,2</b>	<b>31,8</b>
														<b>23,0</b>

Vervolg	METING 6										METING 7									
	METING 6										METING 7									
	UIT					AAN					UIT					AAN				
Variable [eenheid]	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	voor tunnel	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	voor tunnel	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	voor tunnel	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	voor tunnel	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	voor tunnel
<b>Emissie o.b.v. continue metingen en beperkte tijden en CO<sub>2</sub>-concentratie betreffende ruimte</b>																				
<b><u>Binnentuin in gebruik</u></b>																				
Tijd start meting [hh:mm]	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
Tijd einde meting [hh:mm]	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00
CO <sub>2</sub> -concentratie [ppm]	2255	2600	2356	2421	1981	2289	2117	2128	2797	2373	2624	0	3155	2252	2966	0				
Ventilatiedebit [m <sup>3</sup> /h per dier]	1,16	0,98	1,10	1,06	1,36	1,14	1,25	1,24	0,89	1,08	0,96	-5,35	0,78	1,15	0,83	-5,35				
Concentratie PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	6499	9224	3107	1206	3864	3255	2396	1511	9131	6404	7516	2281	3522	4373	4837	1763				
Concentratie afname ASPRA's [µg/m <sup>3</sup> ]					2635	5970	711	-305					5609	2032	2679	519				
Concentratie reductie ASPRA's [%]					40,5	64,7	22,9	-25,3					61,4	31,7	35,6	22,7				
Emissie PM10 [g/dier per jaar]	66	79	30	11	46	32	26	16	71	61	63	-106	24	44	35	-82				
Emissie afname ASPRA's [g/dier per jaar]					20	46	4	-5					47	17	28	-24				
<b>Emissie reductie ASPRA's [%]</b>					<b>30,2</b>	<b>58,9</b>	<b>12,1</b>	<b>-46,9</b>					<b>66,5</b>	<b>27,3</b>	<b>44,2</b>	<b>22,7</b>				
<b><u>Binnentuin afgesloten</u></b>																				
Tijd start meting [hh:mm]	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00
Tijd einde meting [hh:mm]	9:00	10:00	9:00	9:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	9:25	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
CO <sub>2</sub> -concentratie [ppm]	1921	2340	2060	2086	1584	2042	1898	1873	2551	2611	2390	0	2755	2704	2584	0				
Ventilatiedebit [m <sup>3</sup> /h per dier]	1,41	1,11	1,29	1,27	1,81	1,31	1,43	1,46	0,99	0,97	1,07	-5,35	0,91	0,93	0,98	-5,35				
Concentratie PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	837	7957	1930	346	306	1534	833	467	860	1670	2201	786	449	1866	2171	744				
Concentratie afname ASPRA's [µg/m <sup>3</sup> ]					531	6423	1097	-121					411	-196	30	42				
Concentratie reductie ASPRA's [%]					63,4	80,7	56,8	-35,0					47,8	-11,7	1,4	5,4				
Emissie PM10 [g/dier per jaar]	10	77	22	4	5	18	10	6	7	14	21	-36	4	15	19	-34				
Emissie afname ASPRA's [g/dier per jaar]					5	60	11	-2					4	-1	2	-2				
<b>Emissie reductie ASPRA's [%]</b>					<b>53,4</b>	<b>77,3</b>	<b>52,3</b>	<b>-56,3</b>					<b>52,6</b>	<b>-7,4</b>	<b>10,1</b>	<b>5,2</b>				

Vervolg	METING 6										METING 7									
Variable [eenheid]	UIT										AAN									
	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	voor tunnel	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	voor tunnel	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	voor tunnel	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	voor tunnel	binnen- tuin	nachth Z	nachth N	voor tunnel
<b>Emissie o.b.v. continue metingen en beperkte tijden en CO2-concentratie voor tunnel</b>																				
<b><u>Binnentuin in gebruik</u></b>																				
Tijd start meting [hh:mm]	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
Tijd einde meting [hh:mm]	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00
CO <sub>2</sub> -concentratie [ppm]				2421								2128				2598				2791
Ventilatiedebit [m <sup>3</sup> /h per dier]	1,06	1,06	1,06	1,06	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	0,98	0,98	0,98	0,98	0,90	0,90	0,90	0,90
Concentratie PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	6499	9224	3107	1206	3864	3255	2396	1511	9131	6404	7516	2281	3522	4373	4837					1763
Emissie PM10 [g/dier per jaar]	60	86	29	11	42	35	26	16	78	55	64	19	28	34	38	14				14
Emissie afname ASPRA's [g/dier per jaar]					18	50	3	-5					50	20	26	6				6
<b>Emissie reductie ASPRA's [%]</b>					<b>30,5</b>	<b>58,8</b>	<b>9,8</b>	<b>-46,9</b>					<b>64,6</b>	<b>37,3</b>	<b>40,9</b>	<b>29,0</b>				
<b><u>Binnentuin afgesloten</u></b>																				
Tijd start meting [hh:mm]	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00
Tijd einde meting [hh:mm]	9:00	10:00	9:00	9:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	9:30	9:30	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
CO <sub>2</sub> -concentratie [ppm]				2086								1873				2517				2681
Ventilatiedebit [m <sup>3</sup> /h per dier]	1,27	1,27	1,27	1,27	1,46	1,46	1,46	1,46	1,01	1,01	1,01	1,01	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Concentratie PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	837	7957	1930	346	306	1534	833	467	860	1670	2201	786	449	1866	2171	744				744
Emissie PM10 [g/dier per jaar]	9	89	21	4	4	20	11	6	8	15	19	7	4	15	18	6				6
Emissie afname ASPRA's [g/dier per jaar]					5	69	11	-2					4	-1	2	1				1
<b>Emissie reductie ASPRA's [%]</b>					<b>58,4</b>	<b>78,0</b>	<b>50,7</b>	<b>-56,3</b>					<b>51,8</b>	<b>-3,9</b>	<b>8,4</b>	<b>12,0</b>				
	Waarde gebaseerd op meting met mogelijk foutieve waarden																			
	Waarde gebaseerd op meting met slechts één DustTrak																			
	Waarde = gemiddelde van de concentraties in de andere ruimten																			

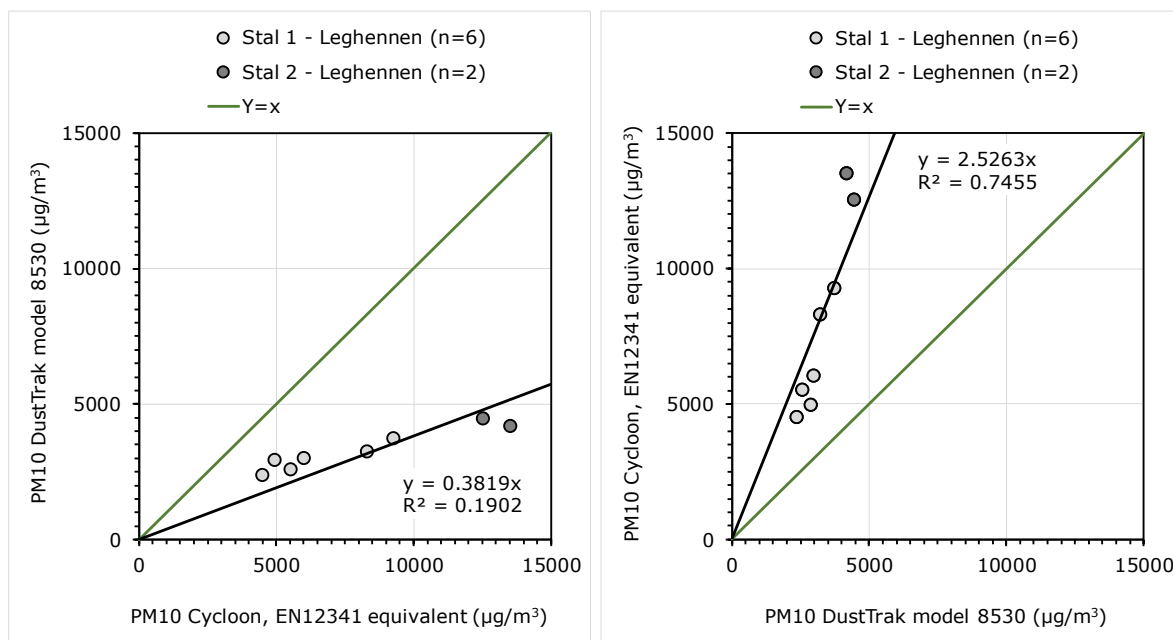


## Bijlage 5 Bepaling correctiefactor voor DustTrak model 8530

De relatie tussen de PM<sub>10</sub> concentratie bepaald met de DustTrak en de gravimetrische methode voor PM<sub>10</sub> zoals die in gebruik is bij Wageningen Livestock Research is bepaald door in twee verschillende leghennenstallen simultane metingen (n=8) uit te voeren met beide methoden naast elkaar. Van de twee methoden is de gravimetrische methode equivalent aan de PM<sub>10</sub> referentiesampler in EN 12341:2014 (CEN, 2014).

In onderstaande figuren zijn de relaties tussen beide meetmethoden weergegeven. In de linker figuur is de equivalente methode op de x-as geplaatst en de DustTrak model 8530 op de Y-as. Uit de linker figuur blijkt dat de puntenwolk en de bijbehorende regressieline onder de groene Y=x lijn ligt. Dit betekent dat de DustTrak de werkelijke concentratie onderschat.

In de rechter figuur is vervolgens de DustTrak model 8530 op de x-as geplaatst en de equivalente methode op de Y-as. In de bijbehorende regressiefunctie  $Y = 2,5263x$  is nu x de DustTrak concentratie. Wil men de DustTrak concentratie x omrekenen naar de werkelijke concentratie Y, dan moet die concentratie x vermenigvuldigd worden met de factor 2,5263 of afgerond **2,53**.



---

## Bijlage 6 Kalibratie meetapparatuur

### TSI DustTrak II Aerosol Monitor Model 8530

Na iedere stalmeting van ruim tweemaal 24 uur zijn de instrumenten van buiten en binnen schoon gemaakt en indien nodig weer van een nieuw filter voorzien (dit betreft het filter dat de optische onderdelen van het apparaat beschermen tegen stofafzetting en verminderd functioneren). Dit laatste geeft het instrument zelf aan. Vervolgens hebben de instrumenten in het Air Quality Lab van WLR gedurende enkele dagen in de zogenaamde "survey-mode" gedraaid. Hierbij wordt het instrument gespoeld met de schone omgevingslucht ( $<20 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{PM}_{10}$ ). Middels een 'nul-filter' dat in het geheel geen  $\text{PM}_{10}$  deeltjes doorlaat is gecontroleerd of het instrument daadwerkelijk een nulconcentratie toonde of dat de zero-waarde moest worden aangepast. Bij model 8530 is het nullen van het toestel lastiger dan bij model 8520. Daarom is gekozen om de actuele nulwaarden te noteren en later, tijdens de gegevensverwerking, voor de hogere nulwaarde te corrigeren. Na circa drie dagen spoelen zijn de instrumenten uitgezet en klaargezet voor de volgende metingen. Alle instrumenten worden jaarlijks teruggestuurd naar de leverancier voor onderhoud en justeren, waarbij voor elk instrument een nieuw certificaat wordt verstrekt. Als op basis van de verkregen ruwe data blijkt dat de instrumenten niet betrouwbaar zijn, worden deze geëxcludeerd van de dataset voor verdere bewerking. Door een meettechnicus wordt vervolgens beoordeeld of het instrument moet worden opgestuurd voor justering. Bij herhaling van onbetrouwbare data bij een volgende meting wordt het instrument opgestuurd.

### Gravimetrische stofmeting van $\text{PM}_{10}$

De gravimetrische meting van  $\text{PM}_{10}$  wordt uitgevoerd met behulp van inlaatkoppen en cycloon voorafscheiders verbonden aan een filterhouder en monsternamepompen. De inlaatkoppen, cycloon voorafscheiders, filterhouders en buizen worden na iedere meting volledig gedemonteerd en gereinigd in een speciaal daarvoor geschikte vaatwasser.

Voor het kalibreren van de monsternamepompen beschikt WLR over een tweejaarlijks bij het Nederlands Metrologisch Instituut (VSL) gekalibreerde referentiefLOWmeter. De pompen die worden ingezet bij de metingen worden minimaal eens per drie maanden gekalibreerd ten opzichte van deze referentie. Indien wordt getwijfeld aan de werking van een pomp wordt deze ook tussentijds gekalibreerd. Iedere pomp wordt voorzien van een sticker met daarop de datum van kalibratie en de correctiefactor voor het berekenen van de werkelijke luchthoeveelheid.

### Vaisala $\text{CO}_2$ -sensor met $\text{CO}_2$ Probe GMP252

De instrumenten hebben recente certificaten van de leverancier. Voordat de instrumenten in het onderzoek worden ingezet worden deze geijkt in het Air Quality Lab. Middels het aanbieden van een verdunningsreeks  $\text{CO}_2$ -kalibratiegas wordt de ijklijn van ieder individueel instrument vastgesteld. De kalibratiegegevens en de lijnstukken/regressieformules worden opgeslagen op een centrale plaats op het computernetwerk. Onderzoekers gebruiken deze lijnstukken/ regressieformules om het uitgangssignaal van de sensor om te rekenen naar een accurate  $\text{CO}_2$ -concentratie.

### Escort RH iLog EI-HS-D-32-L

Na iedere meting wordt het instrument van buiten schoongemaakt. Vervolgens komt het in een houder te liggen samen met andere sensoren. Hierdoor kan een mogelijke afwijking t.o.v. andere sensoren worden vastgesteld hetgeen een indicatie is dat de sensor onvoldoende functioneert. De loggers worden als gekalibreerd gekocht en worden daarna niet geijkt. Ze worden daarom slechts gebruikt ter indicatie van de meetomstandigheden.

Specificaties:

- Temperatuurbereik:  $-40$  tot  $+70 \text{ }^\circ\text{C}$
- Luchtvochtigheidsbereik:  $0$  tot  $100 \%$
- Nauwkeurigheid:
  - temperatuur:  $\pm 0,35 \text{ }^\circ\text{C}$  (van  $-40$  tot  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) en  $\pm 0,25 \text{ }^\circ\text{C}$  (van  $0$  tot  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ );
  - luchtvochtigheid:  $\pm 3\%$ .

## Bijlage 7 Foto's effect nevelkoeling



*Plaatsing nevelunit t.o.v. ASPRA Agro (Foto's Wageningen Livestock Research).*



*Nevelkoeling in werking*



*Druipsporen op buitenkant ASPRA Agro (Foto's VFA Technology).*



*Sporen van kortsluiting (in de rode cirkels)*

## Bijlage 8 Concept BWL-beschrijving

**Let op! Dit is een concept ten tijde van publicatie van dit rapport.**

Nummer systeem		BWL
Naam systeem		Interne circulatie met positieve ionisatie; nn% reductie fijnstof (PM <sub>10</sub> )
Diercategorie		Additionele technieken voor emissiereductie van fijn stof bij pluimvee; ?? (categorieën uit Rav nog toevoegen)
Werkingsprincipe		De emissie van fijn stof (PM <sub>10</sub> ) wordt beperkt door middel van het geven van een positieve lading aan de stofdeeltjes. Hiervoor wordt in de stal een intern luchtcirculatiesysteem aangebracht met een ingebouwd ionisatiesysteem. Stallucht wordt aangezogen door een ventilator en weer uitgeblazen via een geperforeerde metalen mantel. Door de positieve lading binden de stofdeeltjes zich aan de binnenkant van de metalen mantel van het systeem. Door een borstelsysteem worden het opgehoopte stof verwijderd.
DE TECHNISCHE UITVOERING VAN HET SYSTEEM; BOUWKUNDIG		
	Onderdeel	Uitvoeringseis
1	Eisen volgens beschrijving waarmee systeem wordt gecombineerd.	
DE TECHNISCHE UITVOERING VAN HET SYSTEEM; TECHNISCHE VOORZIENINGEN		
	Onderdeel	Uitvoeringseis
2	Huisvestingsvorm	Afhankelijk van diercategorie en huisvestingssysteem
3a	Ionisatiesysteem	Een ventilator in een metalen huls zorgt voor interne luchtcirculatie. In de metalen huls is ook een (positief) ionisatiesysteem met coronadraden aangebracht.
3b		Geladen stofdeeltjes worden afgevangen aan de binnenkant van de geperforeerde metalen platen van de huls. Voor de verwijdering van het stof is een automatisch borstelsysteem aanwezig.
3c		De ventilatorcapaciteit is regelbaar tot maximaal 11.500 m <sup>3</sup> /uur.
3d		Per 400 m <sup>2</sup> staloppervlak <sup>6</sup> minimaal 1 unit. Dit is inclusief een eventueel aanwezige overdekte ruimte dat als leefoppervlak wordt meegeteld.
3e		Plaatsing van de units conform het plaatsingsplan van de leverancier. Hierbij moet rekening gehouden worden met de locatie van eventuele vernevelaars.

<sup>6</sup> Met staloppervlak wordt bedoeld het voor de dieren toegankelijke deel van de stal zonder aanwezig roostervloeren. Dit is afhankelijk van het aanwezige huisvestingssysteem.

4	Registratieapparatuur	De volgende registratieapparatuur dient aanwezig te zijn: <ul style="list-style-type: none"> <li>- apparatuur voor het registreren van het in gebruik zijn van het ionisatiesysteem (bijvoorbeeld centrale aansturing, urenteller, (k)Wh-meter)</li> <li>- apparatuur voor storingsmelding.</li> </ul>
<b>HET GEBRUIK VAN HET SYSTEEM</b>		
	<b>Onderdeel</b>	<b>Gebruikseis</b>
a	Leefoppervlak	Aantal dieren/m <sup>2</sup> leefoppervlak volgens beschrijving waarmee systeem wordt gecombineerd.
b	Ionisatie	Ionisatie op 100% capaciteit vanaf 0 dagen na opzet <sup>7</sup>
c	Ventilatorcapaciteit	De ingestelde capaciteit is afhankelijk van de leeftijd van de dieren: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bij groeiende dieren start op minimaal 20% van maximum, rechtlijnige toename naar 100% op; <ul style="list-style-type: none"> <li>o 5 weken leeftijd bij opfokleghennen en opfok vleeskuikenouderdieren</li> <li>o 3 weken leeftijd bij vleeskuikens</li> <li>o 6 weken leeftijd bij vleeskalkoenen</li> </ul> </li> <li>- Bij volwassen dieren (leghennen en vleeskuikenouderdieren) vanaf opzet op 100%</li> </ul>
d	Reiniging	Verwijdering van stof in de unit afhankelijk van diersoort, leeftijd dieren, staltype en bedrijfsvoering. Minimaal 1 keer per week, oplopend tot 1 keer per 12 uur.
e	Onderhoudscontract	Het afsluiten van een onderhoudscontract met de leverancier of een andere deskundige partij wordt sterk aanbevolen <sup>8</sup> . In het onderhoudscontract zou een jaarlijkse controle en onderhoud van het ionisatiesysteem moeten zijn opgenomen. Verder zijn in dit contract de taken van de leverancier/deskundige partij opgenomen.
f	Registratie	Ten behoeve van een controle op de werking van het systeem moeten de volgende gegevens automatisch worden geregistreerd: <ul style="list-style-type: none"> <li>- de ingestelde ventilatorcapaciteit</li> <li>- de reinigingsfrequentie.</li> </ul> Van de geregistreerde waarden moet tijdens de controle een uitdraai van de huidige en vorige productieperiode opvraagbaar zijn.
<b>Werkingsresultaat</b>		
		Emissiereductie fijnstof (PM <sub>10</sub> ) van nn% ten opzichte van de emissiefactor van het stalsysteem waarmee het wordt gecombineerd.
<b>Verwijzing meetrapport</b>		
		Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen: ASPRA Agro van VFA-Solutions/SmitsAgro (edepotnr toevoegen)

<sup>7</sup> Bij de systemen waar eieren worden uitgedroed in de stal en daarna de kuikens in dezelfde stal worden opgefokt tot een bepaalde leeftijd (categorieën E 5.9.1.1 en E 5.9.1.2), de ionisatie inschakelen bij overplaatsen naar de vervolghuisvesting.

<sup>8</sup> Een onderhoudscontract is een goed middel om te voorkomen dat de gebruiker problemen krijgt bij het afleggen van een verantwoording bij de handhaving.

## Principeafbeelding van de ASPRA Agro



CONCEPT

<b>Naam:</b> Interne circulatie met positieve ionisatie; nn% reductie fijnstof (PM <sub>10</sub> )	<b>Nummer:</b> BWL
	<b>Systeembeschrijving:</b> XXX

---



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](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wur.nl/livestock-research](http://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.

