



---

# Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen

Octafil met recirculatie van VEKO Ventilatie

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

RAPPORT 1225



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



---

# Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen: Octafil met recirculatie van VEKO Ventilatie

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

Wageningen Livestock Research  
Wageningen, juli 2020

---

Rapport 1225

Samenvatting NL 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 Octafil van de firma VEKO Ventilatie, geïnstalleerd in een leghennenstal, waarbij de lucht gedeeltelijk intern wordt gerecirculeerd na filtering. In afwijking van de meetprotocollen is er in de zogenaamde "fijnstof pilots" aan één (in plaats van twee) bedrijfslocaties gemeten. Uit de metingen blijkt de emissie van filtratie met interne recirculatie niet statistisch significant verschillend van de emissie zonder interne circulatie. De metingen aan het verwijderingsrendement van het filter gaven een statistisch significante reductie van gemiddeld 36%. Deze reductie is nagenoeg gelijk aan die van de eerder gemeten waarde aan de droogfilterwand (Rav E 7.4; 40% reductie), waarvan de Octafil is afgeleid.

Summery UK 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 Octafil system of the company VEKO Ventilatie, installed inside a layer barn. The system filters particles from the exhaust air flow and then partly recirculates the air back into the poultry house. In deviation from the measurement protocols, the so called "fine dust pilots" included one (instead of two) farm locations. The measurements show that the emission rate in the situation of filtration and internal recirculation is not statistically different from the emission rate in the situation without filtration. Measurements on the removal efficiency of the filter showed a statistically significant reduction of on average 36%. This is almost the same as established in earlier measurements on the dry filter wall (Rav E 7.4; 40% reduction) from which the Octafil system is derived.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/527162> of op [www.wur.nl/livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research) (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2020 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 is onderdeel van Wageningen University & Research.

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.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.  
Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

---

# Inhoud

	<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	13
	2.4 Meetmethoden	14
	2.4.1 Fijnstof (PM <sub>10</sub> )	15
	2.4.2 Ventilatie-debiet	15
	2.4.3 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	15
	2.4.4 Productiegegevens	15
	2.5 Dataverwerking en analyse	16
	2.5.1 Berekening ventilatie-debiet	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 ventilatie-debiet	22
	3.3 Concentratie, emissie en reductie PM <sub>10</sub> van filtratie met interne recirculatie	23
	3.4 Verwijderingsrendement PM <sub>10</sub> door de filterelementen	25
<b>4</b>	<b>Discussie</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>Conclusie</b>	<b>31</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>32</b>
	<b>Bijlage 1 Beschrijving stal</b>	<b>34</b>
	<b>Bijlage 2 Landbouwkundige voorwaarden</b>	<b>39</b>
	<b>Bijlage 3 Overzicht alle meetdata</b>	<b>40</b>
	<b>Bijlage 4 Bepaling correctiefactor voor DustTrak model 8530</b>	<b>41</b>
	<b>Bijlage 5 Kalibratie meetapparatuur</b>	<b>42</b>



---

# Woord vooraf

In de zoektocht voor pluimveebedrijven naar de mogelijkheden om de emissie van fijnstof (PM<sub>10</sub>) 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<sub>10</sub>) in de buitenlucht die geassocieerd worden met gezondheidseffecten bij mensen. In deze pilot is onderzocht in welke mate de Octafil van de firma VEKO Ventilatie in staat zijn 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 Octafil van de firma VEKO Ventilatie bestaat uit filterelementen rondom de aanzuigopening van dakventilatoren. De filterelementen verwijderen stofdeeltjes uit de luchtstroom door inertiaële impactie, gravitatie en kleving aan het filtermateriaal. De filterelementen zijn wat betreft opbouw gelijk aan die van de droogfilterwand (Rav E 7.4; BWL 2010.29.V2), maar verschillen wat betreft plaatsing (rondom de aanzuigopening van een dakventilator) en materiaal (karton in plaats van kunststof). Op basis van het gelijke werkingsprincipe is de toepassing bij dakventilatoren ook opgenomen in beschrijving BWL 2010.29(.V2). In de bemeten situatie zijn boven de ventilator kleppen gemonteerd waarmee een deel van de gefilterde lucht kan worden teruggeblazen de stal in (recirculatie). De rest van de gefilterde lucht wordt naar buiten de stal geblazen. De mate van recirculatie is afhankelijk van de ventilatiebehoefte. Het recirculeren van de gefilterde stallucht zou een bijdrage aan de verlaging van de stofconcentratie in de stal en daarmee ook van de emissie kunnen geven. De totale reductie van interne circulatie met filtratie zal daarmee hoger kunnen zijn dan van alleen filtratie van de uitgaande lucht. Het systeem was geïnstalleerd in een leghennenstal met volièrehuisvesting voor ca. 11.500 dieren.

## *Meetstrategie en meetmethoden*

In dit onderzoek is een zogenaamde "case-control strategie in de tijd" gehanteerd. Dit betekent dat het systeem (interne circulatie met filtratie) in principe de gehele productieperiode aan stond maar dat er tijdens elke meting eerst 24 uur gemeten werd met het systeem uit (zonder interne circulatie = control), gevolgd door een tweede periode van 24 uur terwijl het systeem ingeschakeld was (met interne circulatie = 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<sub>2</sub>-concentratie (t.b.v. het berekenen van het ventilatiedebiet middels de CO<sub>2</sub>-balansmethode) en concentratie van PM<sub>10</sub>. Uit de combinatie van ventilatiedebiet en PM<sub>10</sub>-concentratie is de PM<sub>10</sub>-emissie berekend.

## *Resultaten*

In totaal werden acht metingen uitgevoerd, waarvan zes metingen gebruikt konden worden voor het bepalen van het reductiepercentage van het filtreren met interne recirculatie. 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 metingen aan het verwijderingsrendement van het filter gaven een statistisch significante reductie van gemiddeld **36%**. De emissiereductie voor PM<sub>10</sub> door het intern recirculeren van gefilterde lucht bedroeg gemiddeld **-12%** maar was niet statistisch significant afwijkend van nul.

---

### *Conclusie*

Het verwijderingsrendement voor PM<sub>10</sub> over het filter in de Octafil van de firma VEKO Ventilatie is in deze studie bemeten op gemiddeld 36%. Deze reductie is nagenoeg gelijk aan die van de eerder gemeten waarde aan de droogfilterwand (Rav E 7.4; 40% reductie), waarvan de Octafil is afgeleid. In deze studie is niet aangetoond dat de interne recirculatie van gefilterde lucht een verdere verlaging geeft van de emissie van PM<sub>10</sub> uit leghennenstallen t.o.v. de 36% het alleen filtreren zonder interne recirculatie.

---

# 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 fijn stof 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 Octafil van de firma VEKO Ventilatie, 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

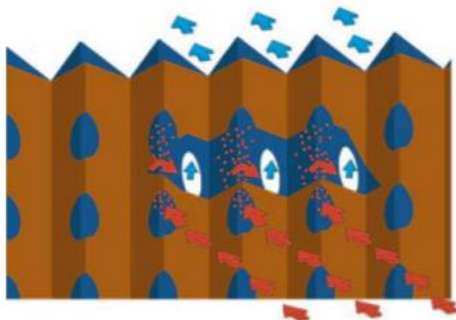
### 2.1 Beschrijving techniek en werkingsprincipe

De Octafil van de firma VEKO bestaat uit filterelementen rondom de aanzuigopening van dakventilatoren. De filterelementen verwijderen stofdeeltjes uit de luchtstroom door inertiaële impactie, gravitatie en kleving aan het filtermateriaal. Het stof dat afgevangen wordt door de filterelementen komt in een trechtervormige opvangbak terecht. De afvoerbuys van deze trechter kan op een mestband of een stofopslag worden aangesloten. De filterelementen zijn wat betreft opbouw gelijk aan die van de droogfilterwand (Rav E 7.4; BWL 2010.29.V2), maar verschillen wat betreft plaatsing (rondom de aanzuigopening van een dakventilator) en materiaal (karton in plaats van kunststof). Op basis van het gelijke werkingsprincipe is de toepassing bij dakventilatoren ook opgenomen in beschrijving BWL 2010.29(.V2).

Een verschil ten opzichte van de beschrijving in BWL 2010.29.V2 is dat de Octafil kan worden uitgevoerd met de mogelijkheid van recirculatie. Hiertoe worden boven de ventilator kleppen gemonteerd waarmee een deel van de gefilterde lucht kan worden teruggeblazen de stal in (recirculatie). De rest van de gefilterde lucht wordt naar buiten de stal geblazen. De mate van recirculatie is afhankelijk van de ventilatiebehoefte. Bij een lager ventilatiedebiet kan er meer lucht gerecirculeerd worden. Het recirculeren van de gefilterde stallucht geeft mogelijk een bijdrage aan de verlaging van de stofconcentratie in de stal en daarmee ook van de emissie. De totale reductie van interne circulatie met filtratie zal daarmee hoger kunnen zijn dan van alleen filtratie van de uitgaande lucht.

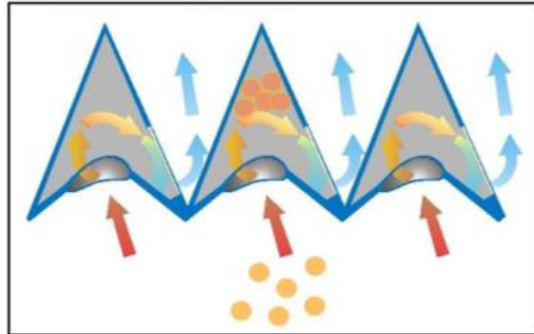
Zoals aangegeven voldoet het Octafil-systeem aan de randvoorwaarden vastgelegd in BWL 2010.29.V2 en geeft een reductie van 40% over het filter. Figuur 2.1-A geeft een beschrijving van de filters aanwezig op de Octafil. Figuur 2.1-B geeft een weergave van de techniek zoals toegepast in de proefstal waarin is gemeten.

a. Vooraanzicht filterwand



Rode pijlen: ingaande, stofrijke lucht  
Blauwe pijlen; uitgaande, stofarme lucht  
Blauwe openingen: ingang in voorste filterlaag  
Witte openingen: uitgang in achterste filterlaag

b. Bovenaanzicht filterwand



Rode pijlen: ingaande, stofrijke lucht  
Blauwe pijlen; uitgaande, stofarme lucht



**Figuur 2.1-A** Beschrijving en foto's van de filters aanwezig op de Octafil.



**Figuur 2.1-B** De Octafil in de stal waar is gemeten. Op de foto is één Octafil blauw omcirkeld. Bovenaan de Octafil zijn de kleppen voor de recirculatie zichtbaar.

## 2.2 Beschrijving stal en bedrijfssituatie

De metingen zijn uitgevoerd in een stal met volièrehuisvesting voor leghennen. In de stal werden 11.500 vrije uitloop leghennen gehouden, verdeeld over vier, door middel van gaas gescheiden, compartimenten. De hennen waren gehuisvest in drie systeemrijen met bijbehorend vier

strooiselgangen. Voor de ventilatie van de stal werd gebruik gemaakt van vier inblaasventilatoren. De lucht ging de stal weer uit door de Octafil units. Verspreid over de lengte van de stal waren vier Octafil units aanwezig, geplaatst net naast de nok (zie figuur 2.1-B). Aan de noordwestzijde was de stal voorzien van een in pandige overdekte uitloop van waaruit de leghennen ook naar een vrije uitloop konden. Tijdens de metingen waren zowel overdekte als vrije uitloop niet toegankelijk voor de hennen omdat open uitloopschuiven de metingen zouden verstoren. In bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de belangrijkste kenmerken van de stal en enkele managementaspecten, samen met enkele foto's, een stalplattegrond en een overzichtsfoto van het bedrijf. Op het bedrijf worden naast de leghennen ook vleeskalveren gehouden (in de stal ten oosten van de leghennenstal, zie bijlage 1).

## 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 vervuilde 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. de concentraties en emissies van fijnstof (PM<sub>10</sub>) zijn vastgesteld met DustTraks (een lichtverstrooiingsmethode) in plaats van met een gravimetrische meetmethode;
- d. 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.

- e. de achtergrondconcentraties van fijnstof ( $PM_{10}$ ) zijn niet gemeten, hiervoor zijn achtergrondconcentraties gebruikt van het dichtstbijzijnde meetstation van het Luchtmeetnet (RIVM, 2019).

Er zijn in totaal acht metingen uitgevoerd, waarvan zes metingen 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 is eerst 24 uur gemeten met de techniek uit. De pluimveehouder/leverancier van de techniek heeft daarbij 24 uur voor de aanvang van de 'uit'-meting de techniek uitgeschakeld. Na deze 24 uur is de 'uit'-meting gestart en heeft de pluimveehouder de techniek na 24 uur weer ingeschakeld waarbij de meting doorliep en overging in de 'aan'-meting. De 'aan'-meting is daarna minimaal 25 uur voortgezet, waarbij het eerste uur als een stabilisatieperiode werd gezien en niet is meegenomen in de verwerking van de data. Volgens de leverancier is een uur stabilisatieperiode tussen de uit- en de aan-meting voldoende om het effect van de Octafil te kunnen meten. Om een reductie van de emissie zo zuiver mogelijk te kunnen toeschrijven aan de werking van de reducerende techniek zijn de meetdagen dicht bij elkaar gekozen; met een kleinere kans op grote verschillen in buitenklimaat.

Tijdens voornoemde meetdagen zijn de concentraties van fijnstof ( $PM_{10}$ ) en koolstofdioxide ( $CO_2$ ) 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, locatie: de Bilt) en het RIVM (voor  $PM_{10}$ , locatie: Wekerom-Riemterdijk) voor dezelfde periode als de meetperioden. Voor de concentratie van  $CO_2$  in de buitenlucht is een vaste waarde van 400 ppm genomen.



**Figuur 2.2** Plaats van de meting van de concentraties in de stal (blauw omcirkeld). De blauwe pijl geeft de luchtstroom aan de Octafil in, deze luchtstroom gaat vervolgens gedeeltelijk naar buiten en wordt gedeeltelijk gerecirculeerd via kleppen boven de filters.

Voor het bepalen van de concentraties in de uitgaande luchtstroom is een positie gekozen zo dicht mogelijk bij de ventilatoren die zorgen voor de afvoer van de stallucht, zodanig dat de luchtsnelheid beneden 2 m/s bleef om niet-isokinetische condities (d.w.z. condities waarbij de luchtsnelheid in de stal en die van de sample flow te zeer uit de pas lopen en grotere deeltjes onder- of overbemonsterd worden) te voorkomen. Figuur 2.2 geeft de situatie in de bemeten stal weer van de meetpositie ten opzichte van de ventilatoren. In bijlage 1 is het meetpunt in de stal blauw omcirkeld.

## 2.4 Meetmethoden

Een omschrijving van het onderhoud en kalibraties van onderstaande instrumenten is te vinden in bijlage 4.



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

De concentratie van fijnstof (PM<sub>10</sub>; mg/m<sup>3</sup>) is in duplo gemeten met een DustTrak apparaat (DustTrak™ Aerosol Monitor, model 8530, TSI Inc., Shoreview, USA; zie voor model 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 CEN-EN 12341; Winkel et al., 2015a; Cambra-López et al., 2015). Daarom zijn de concentraties, zowel van proef- als referentieperioden, gecorrigeerd met een correctiefactor. Voor de 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. (2015). De resultaten van de metingen die ten grondslag liggen aan deze correctiefactor staan in bijlage 2.



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

#### 2.4.2 Ventilatie-debiet

Ten behoeve van het vaststellen van het ventilatie-debiet is de concentratie van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) gemeten. Via de CO<sub>2</sub>-balansmethode is het ventilatie-debiet bepaald. De CO<sub>2</sub>-concentratie in de uitgaande stallucht is gemeten met behulp van een Testo CO<sub>2</sub>-meter (Testo B.V.; Almere, Nederland; type 435, met IAQ-probe voor CO<sub>2</sub>) of 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 (RV) 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 werd 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 = waarde voor CO<sub>2</sub>-productie per kW in m<sup>3</sup>/uur per dier.

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;
- $[CO_2]_{stal}$  = CO<sub>2</sub> concentratie in parts per million (ppm) gemeten bij het emissiepunt van de stal;
- $[CO_2]_{buiten}$  = vaste waarde voor de concentratie van CO<sub>2</sub> van 400 ppm.

### 2.5.2 Berekening fijnstofemissie

De fijnstofemissie kan bij toepassing van deze techniek op twee manieren worden bepaald. Dit kan worden gedaan op basis van het effect van recirculatie met het filter en op basis van het filteren van de uitgaande lucht via de filters.

#### Effect recirculatie

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;
- $[PM_{10}]_{stal}$  = de concentratie van PM<sub>10</sub> in µg/m<sup>3</sup>, gemeten nabij het emissiepunt van de stal;
- $[PM_{10}]_{buiten}$  = de concentratie van PM<sub>10</sub> in µg/m<sup>3</sup>, gemeten door het dichtstbijzijnde meetstation van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit voor dezelfde periode;
- $10^{-6}$  = conversiefactor van µg naar 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 productieperiodes. Dit is wel nodig bij het berekenen van een absolute emissiefactor, maar niet in deze situatie voor het berekenen van een reductiepercentage.

---

## Verwijderingsrendement filter

Het verwijderingsrendement van het filter kan worden berekend met de volgende formule:

$$R = \frac{C_{stal} - C_{na\_filter}}{C_{stal}} * 100\%$$

waarbij:

- R = verwijderingsrendement filter;
- $C_{stal}$  = de concentratie van PM<sub>10</sub> in µg/m<sup>3</sup>, gemeten nabij het emissiepunt van de stal;
- $C_{na\_filter}$  = de concentratie van PM<sub>10</sub> in µg/m<sup>3</sup>, gemeten na het filter.

### 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  $\pm t_{(v=n-1; \alpha)} * SE$ , 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 case- en controledagen 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;
- CO<sub>2</sub>-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. Aanvullend is het verwijderingsrendement over het filter getoetst door de fijnstofconcentraties in de ingaande en de uitgaande lucht als gepaarde waarnemingen eveneens te onderwerpen aan een gepaarde  $t$ -toets, uitgaande van de onderzoekshypothese van hogere waarden in de ingaande luchtstroom.

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).

---

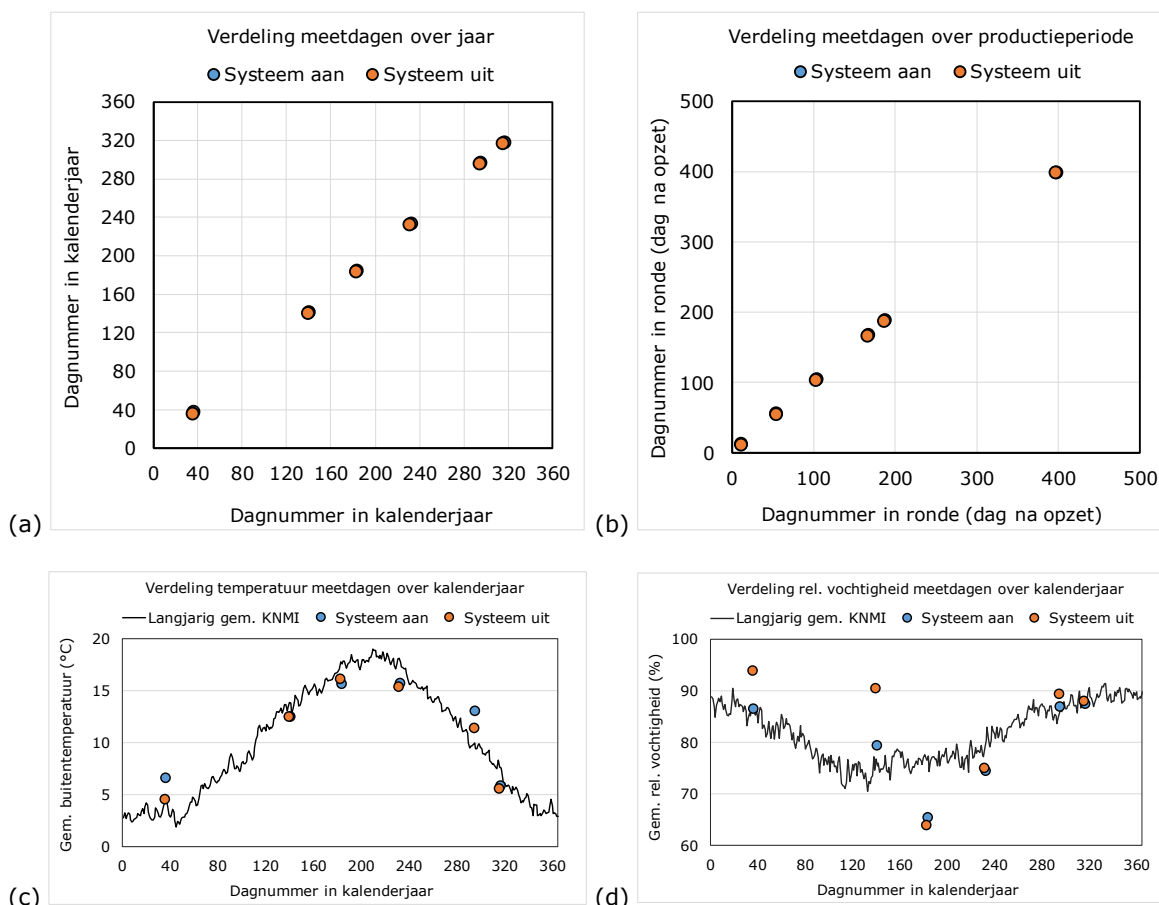
Relaties tussen het reductiepercentage en mogelijke invloedsfactoren (fijnstofconcentratie, ventilatiedebiet) op de effectiviteit van de techniek werden verkend met behulp van Enkelvoudige Lineaire Regressie. Hier is een effect van de invloedsfactor (x-variabele) op het reductiepercentage (Y-variabele) 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 statistische 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 zijn gebalanceerd over de productieperiode 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 acht metingen uitgevoerd in de periode augustus 2018 tot en met november 2019 (Zie bijlage 3). Hiervan gaven zes metingen betrouwbare resultaten. De metingen 1 en 3 zijn geëxcludeerd uit de dataset. Meting 1 vanwege beschadigingen aan de geplaatste filters en meting 3 vanwege inzet van verkeerde CO<sub>2</sub>-meetapparatuur, waardoor geen debiet kon worden bepaald.

Het gemiddelde dagnummer van de dagen waarop is gemeten is 201 (streven: ca 183). De metingen zijn niet geheel gelijkmatig over het jaar verdeeld. In de tweede periode van twee maanden is geen meting uitgevoerd en twee metingen vielen in de vierde periode van twee maanden. Reden voor deze verdeling is o.a. de looptijd van het project, beschadiging van filters, niet kunnen inzetten van meettechnici door ziekte, dreiging van aviaire influenza en de fipronilcrisis (door de laatste twee redenen waren bedrijfsbezoeken in sommige periodes niet mogelijk).

---

Ook de verdeling over de productieperiode is niet gelijkmatig. De metingen zijn vooral uitgevoerd aan het begin van de productieperiode van de dieren. Dit is het gevolg van de startdatum van het project, in samenhang met de beschadiging aan filters en het opzetten van een nieuwe koppel hennen.

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. Door een slechte start van het koppel en door een periode met zeer hoge buitentemperaturen (een maximum temperatuur >40 °C) valt met name het uitvalspercentage buiten de normen van zowel de fokkerijgroepering als de landbouwkundige voorwaarden. Daarnaast is er veel variatie in de wateropname en daarmee water/voer-verhouding. Deels wordt dit verklaard doordat de dieren op de dagen dat er niet werd gemeten (regen)water buiten de stal op kunnen nemen. Ook is een meting uitgevoerd voordat de dieren aan de leg kwamen. Op dat moment was de voeropname lager dan gesteld in de landbouwkundige voorwaarden. Tijdens meting 2 is bij de 'uit'-situatie de gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie hoger geweest dan 3.000 ppm. Bij alle andere metingen lag de CO<sub>2</sub>-concentratie beneden deze grenswaarde. Er zijn verder geen afwijkingen geweest van het standaard bedrijfsmanagement.

De gemiddelde buitentemperatuur bedroeg 11,0 °C voor de meetdagen met de techniek aan versus 11,6 °C voor de meetdagen met de techniek uit (langjarig gemiddelde KNMI: 10,2 °C). Voor de relatieve luchtvochtigheid (RV) was dit 80% op meetdagen met de techniek aan versus 84% op meetdagen met de techniek uit (langjarig gemiddelde KNMI: 82%). Bij metingen 2 en 4 was de RV buiten wel hoger dan het langjarig gemiddelde in de 'uit'-situaties. Daartegenover staat een wat lagere waarde dan gemiddeld bij meting 5. De gemiddelde buitentemperatuur tijdens de metingen lag slechts 0,8 °C en 1,4 °C hoger dan het langjarig gemiddelde voor respectievelijk meetdagen met de techniek aan en uit. De gemiddelde RV tijdens de meetdagen lag binnen 2% verschil ten opzichte van het langjarig gemiddelde.

De gemiddelde temperatuur in de stal bedroeg 22,9 °C voor de meetdagen met de techniek aan versus 23,4 °C voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil niet statistisch significant ( $P=0,249$ ). De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in de stal bedroeg 66,7% voor de meetdagen met de techniek aan versus 66,3% voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil niet statistisch significant ( $P=0,778$ ).

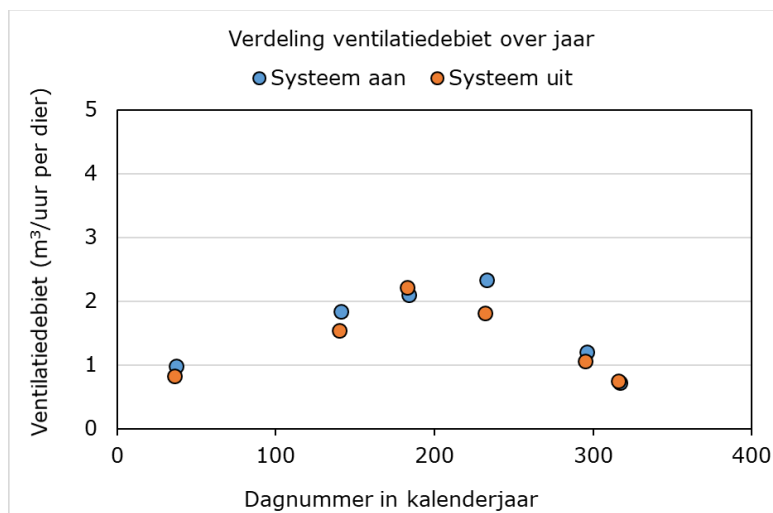
De waarden van de indicatieve ammoniak metingen zijn niet opgenomen in tabel 1. Ze varieerden binnen de normale waarden voor stallen met leghennen en geven geen aanleiding om een relatie met de Octafil te analyseren.

**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 [eenheid]	METING 2		METING 4		METING 5		METING 6		METING 7		METING 8	
	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN
<b>Algemeen</b>												
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	5-2-2019	6-2-2019	20-5-2019	21-5-2019	2-7-2019	3-7-2019	20-8-2019	21-8-2019	22-10-2019	23-10-2019	12-11-2019	13-11-2019
Tijd start meting [hh:mm]	11:45	13:00	10:00	10:30	9:30	10:10	9:30	13:00	9:56	11:00	9:19	12:37
Datum einde meting [dd-mm-yyyy]	6-2-2019	7-2-2019	21-5-2019	22-5-2019	3-7-2019	4-7-2019	21-8-2019	22-8-2019	23-10-2019	24-10-2019	13-11-2019	14-11-2019
Tijd einde meting [hh:mm]	11:45	13:00	10:00	10:30	9:30	10:10	9:30	13:00	9:54	10:58	9:17	12:35
Dagnummer in jaar [#]	36	37	140	141	183	184	232	233	295	296	316	317
<b>Productiekenngetallen</b>												
Opzetdatum dieren [dd-mm-yyyy]	4-1-2018	4-1-2018	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019
Ras	NOVOgen Brown Classic	NOVOgen Brown Classic	NOVOgen Brown Classic	NOVOgen Brown Classic	NOVOgen Brown Classic	NOVOgen Brown Classic	NOVOgen Brown Classic	NOVOgen Brown Classic	NOVOgen Brown Classic	NOVOgen Brown Classic	NOVOgen Brown Classic	NOVOgen Brown Classic
Dagnummer in productieronde	397	398	11	12	54	55	103	104	166	167	187	188
Aantal dieren geplaatst	11424	11424	11415	11415	11415	11415	11415	11415	11415	11415	11415	11415
Aantal dieren aanwezig	10675	10675	11412	11412	11269	11269	10383	10347	9351	9319	8996	8996
Uitval cumulatief [%]	6,56	6,56	0,03	0,03	1,28	1,28	9,04	9,36	18,08	18,36	21,19	21,19
Diergewicht [g]	1850	1850	1650	1650	1850	1850	1850	1850	1380	1380	1380	1380
Voeropname [g/dier per dag]	130	130	87	87	113	113	124	124	125	125	125	125
Wateropname [ml/dier per dag]	222	222	109	109	232	232	200	200	80	80	157	102
Water/Voer-verhouding	1,71	2	1,25	1,25	2,05	2,05	1,61	1,61	0,64	0,64	1,26	1
Legpercentage	84,2	84	30,0	30,0	94,5	94,5	97,1	97,1	95,6	95,6	95,1	95
Gemiddeld eigenwicht	64,4	64,4	50,0	50,0	55,0	55,0	58,8	58,8	60,3	60,3	61,2	61,2
<b>Buitenlichtcondities</b>												
Gem. temperatuur (KNMI) [°C]	4,6	6,7	12,6	12,6	16,2	15,7	15,4	15,8	11,5	13,1	5,6	5,9
Gem. relatieve luchtvochtigheid (KNMI) [%]	94	87	91	80	64	66	75	75	90	87	88	88
Windrichting (KNMI)	ZZW, Z	Z, ZW	NW, NW	NW, NW	NNW, N	N, NW	WZW, Z	Z, ZW	ZW, ONO	ONO, ZZW	Z, ZZW	ZZW, OZO
Achtergrond PM10 (LML) [µg/m³]	18,4	11,6	21,5	17,6	12,6	17,3	14,0	17,3	17,3	20,7	7,9	10,8
Achtergrond PM2.5 (LML) [µg/m³]	17,1	8,9	14,3	10,5	3,3	5,5	8,1	12,3	13,2	13,4	nb	nb
<b>Stallucht en ventilatie</b>												
Luchttemperatuur [°C]	22,9	22,3	23,5	21,7	24,1	23,7	24,5	23,9	23,6	24,0	21,5	21,9
Relatieve luchtvochtigheid [%]	67,0	70,0	68,0	68,0	56,6	55,5	62,9	57,9	71,3	72,5	71,9	76,2
CO <sub>2</sub> -concentratie [ppm]	3126	2675	1634	1432	1409	1464	1642	1368	2152	1961	2917	2970
Ventilatiedebit stal [m³/h per dier]	0,82	0,99	1,54	1,84	2,22	2,10	1,82	2,33	1,07	1,20	0,74	0,73
<b>Fijnstofconcentraties en -emissies</b>												
Gem. concentratie PM10 [µg/m³]	4185	4476	9928	6848	5290	6238	5283	6553	3166	3434	3451	2467
Concentratiereductie PM10 abs. [µg/m³]	-292		3080		-948		-1270		-268		984	
Concentratiereductie PM10 rel. [%]	-7		31		-18		-24		-8		29	
Gem. emissie PM10 stal [g/dier per jaar]	30	39	134	110	102	115	84	134	29	36	22	16
Emissiereductie PM10 abs. [g/dier per jaar]	-9		23		-12		-50		-6		7	
<b>Emissiereductie PM10 rel. [%]</b>	<b>-28</b>		<b>18</b>		<b>-12</b>		<b>-59</b>		<b>-22</b>		<b>30</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 stal bedroeg 1978 ppm voor de meetdagen met de techniek aan versus 2147 ppm voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil statistisch trendmatig ( $P=0,089$ ). Op basis van o.a. de in tabel 1 weergegeven CO<sub>2</sub>-concentraties in de stal zijn de ventilatiedebieten berekend. In figuur 3.2 zijn deze weergegeven ten opzichte van het dagnummer in een kalenderjaar. Het ventilatiedebiet vertoont een normaal verloop over een kalenderjaar: stijgend in het voorjaar en dalend in het najaar. Dagen met debieten boven in de range (boven 3 m<sup>3</sup>/uur per dier) ontbreken echter in de dataset. Een vergelijking met het verloop van het ventilatiedebiet met andere meetrapporten is moeilijk te maken, er zijn geen meetrapporten beschikbaar met metingen bij dezelfde dieren en huisvesting.

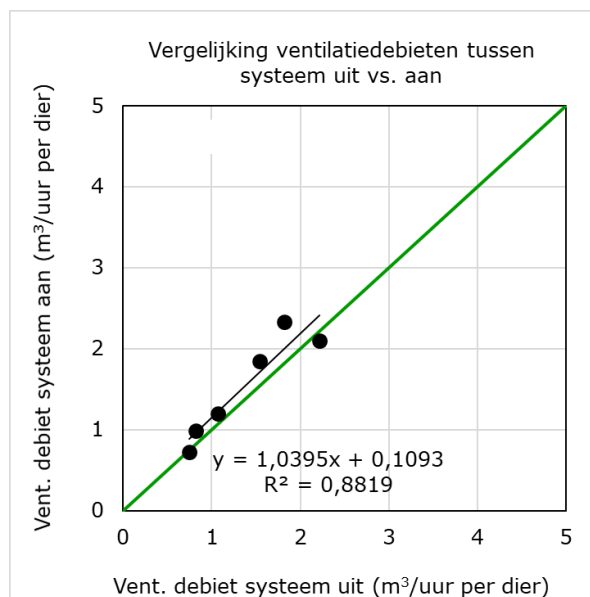


**Figuur 3.2** Verdeling van het ventilatiedebiet over het kalenderjaar.

Het gemiddelde ventilatiedebiet ( $\pm$  standaardafwijking) bedroeg 1,5 ( $\pm 0,6$ ) m<sup>3</sup>/uur per dier voor meetdagen met de techniek aan versus 1,4 ( $\pm 0,7$ ) m<sup>3</sup>/uur per dier voor meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil niet statistisch significant ( $P=0,135$ ).

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. Uit de analyse blijkt dat de richtingscoëfficiënt van de regressielijn niet statistisch significant afwijkt van de waarde 1 (de groene  $Y=x$  lijn;  $P=0,384$ ) en ook het snijpunt van de regressielijn is niet significant afwijkend van nul (d.w.z. door de oorsprong;  $P=0,801$ ). 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.

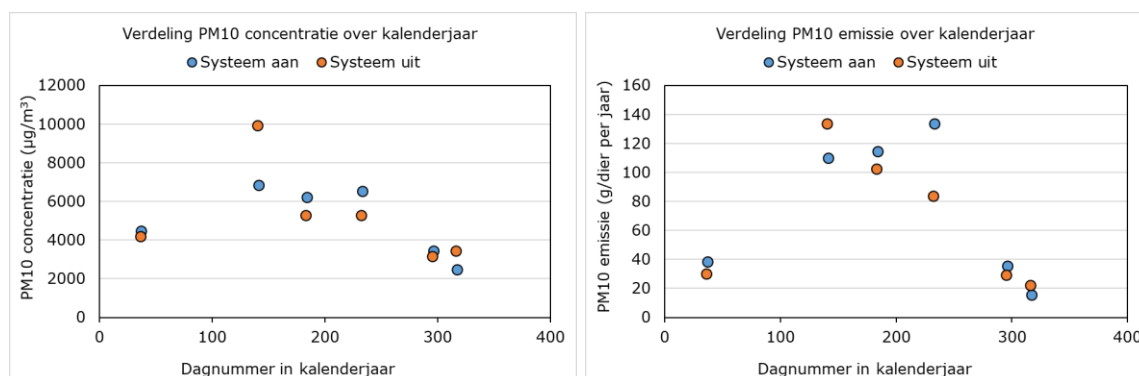




**Figuur 3.3** Vergelijking van het ventilatiedebiet tussen meetdagen met de techniek aan versus meetdagen met de techniek uit.

### 3.3 Concentratie, emissie en reductie PM<sub>10</sub> van filtratie met interne recirculatie

De concentraties en emissies van PM<sub>10</sub> op meetdagen waarop de techniek filtreerde en intern recirculeerde (systeem aan = case) en meetdagen waarop de techniek alleen filtreerde (systeem uit = control) worden weergegeven in figuur 3.4. In combinatie met figuur 3.1c blijkt dat zowel de concentraties als de emissies stijgen met toenemende buitentemperaturen. De concentratie en emissie is waarschijnlijk afhankelijk van het ventilatiedebiet. In de figuur is te zien dat de emissie op de dagen met de techniek aan zowel hoger als lager was dan op de dagen met de techniek uit.



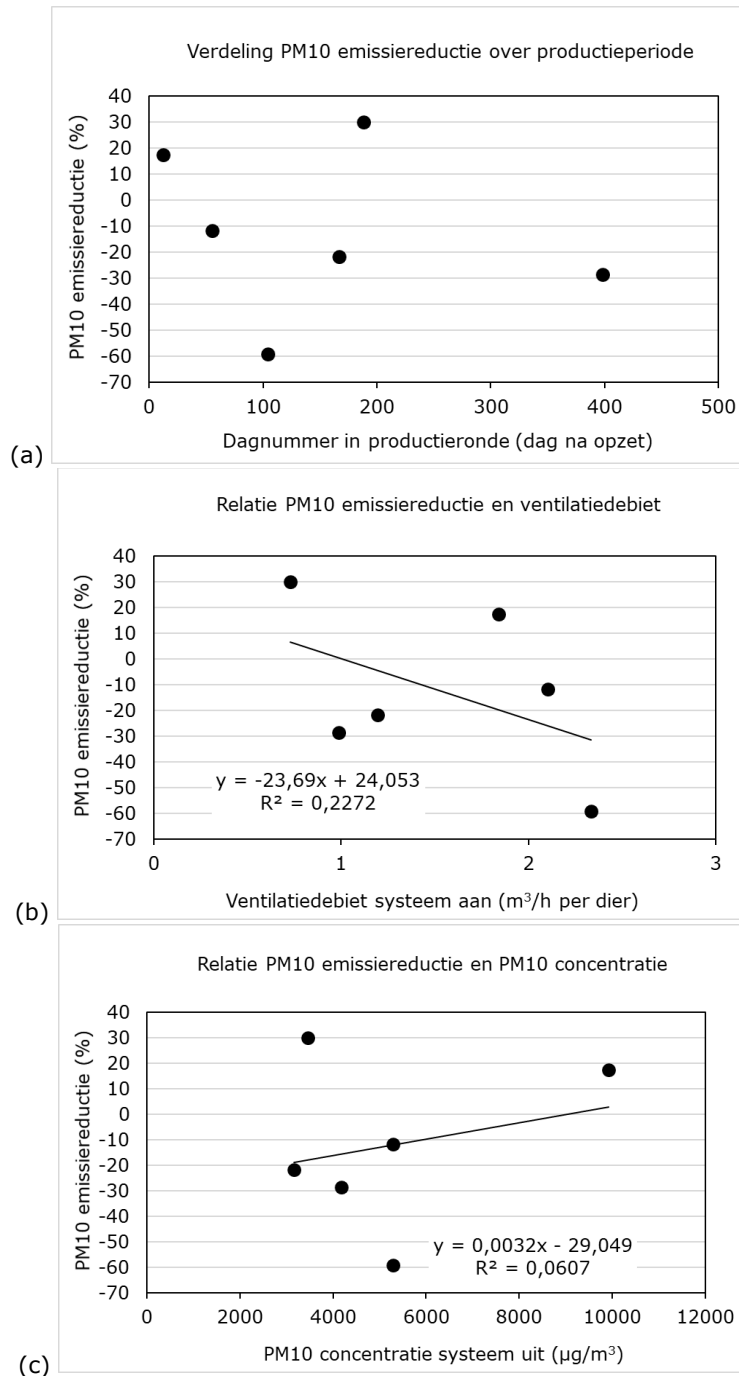
**Figuur 3.4** PM<sub>10</sub> concentraties (links) en PM<sub>10</sub> emissies (rechts) op de meetdagen met de techniek aan en meetdagen met de techniek uit.

De gemiddelde ( $\pm$  standaardafwijking) PM<sub>10</sub> concentratie in de stal bedroeg 5003 ( $\pm$  1817)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voor de meetdagen met de techniek aan, versus 5217 ( $\pm$  2474)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil niet statistisch significant ( $P=0,378$ ).

De gemiddelde PM<sub>10</sub> emissie uit de stal (berekend zoals beschreven in paragrafen 2.5.2 en 2.5.3) bedroeg 74,7 g/dier per jaar voor de meetdagen met de techniek aan, versus 67,0 g/dier per jaar voor de meetdagen met de techniek uit, een verschil van -11,6%. Uit de statistische analyse bleek het verschil in emissies niet statistisch significant ( $P=0,764$ ). Op basis van voornoemde data blijkt de 'filtratie met interne recirculatie' van de techniek de emissie niet aantoonbaar te beïnvloeden. De

emissieniveaus zijn representatief voor die normaliter in leghennenstallen optreden (Winkel et al., 2015b).

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 gedurende de productieperiode, door hogere stofconcentraties en het ventilatiedebiet. Van deze variabelen is het ventilatiedebiet niet statistisch significant van invloed op het reductiepercentage ( $P=0,638$ ), ook is er geen statistisch significante relatie gevonden met de PM<sub>10</sub> concentratie ( $P=0,536$ ). Er is geen literatuur bekend van metingen aan vergelijkbare systemen waarmee de resultaten kunnen worden vergeleken.



**Figuur 3.5** De emissiereductie van wel versus niet intern recirculeren voor PM<sub>10</sub> als functie van (a) dagnummer in de productieronde, (b) het ventilatiedebiet en (c) de PM<sub>10</sub> concentratie in de stal.

### 3.4 Verwijderingsrendement PM<sub>10</sub> door de filterelementen

Naast het meten van de PM<sub>10</sub> concentratie in de stal zijn ook acht 24-uursmetingen uitgevoerd achter de filterelementen. Zowel in de situaties met als zonder interne recirculatie. De resultaten hiervan worden weergegeven in tabel 2. Bij alle metingen werd een verwijdering van fijnstof gevonden, d.w.z. een lagere concentratie na de filterelementen t.o.v. vóór de filterelementen, variërend tussen 23 en 57%. Het gemiddelde verwijderingsrendement over de filterelementen bedraagt 36%. Dit verwijderingsrendement is statistisch significant ( $P=0,001$ ). De reductie over het filter komt goed overeen met de 40% zoals in eerder onderzoek gevonden aan de Droogfilterwand (Rav E 7.4) waarin hetzelfde filtermateriaal aanwezig is (Winkel et al., 2011): de 36% valt binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval [32-48] rondom de eerder gevonden 40% reductie (Winkel et al., 2020). Daarmee is aangetoond dat de Octafil techniek en de droogfilterwand (met hetzelfde filterprincipe) een statistisch niet van elkaar te onderscheiden verwijdering van fijnstof geven waarmee de Octafil techniek terecht is ondergebracht onder de Rav-code E 7.4.

**Tabel 2** Resultaten van de metingen voor en na de filterelementen.

Variabele [eenheid]	METING 2				METING 4				METING 5				METING 6			
	zonder recirculatie	met recirculatie	Stal	Na filter	zonder recirculatie	met recirculatie	Stal	Na filter	zonder recirculatie	met recirculatie	Stal	Na filter	zonder recirculatie	met recirculatie	Stal	Na filter
<b>Algemeen</b>																
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	5-2-2019	6-2-2019			20-5-2019	21-5-2019			2-7-2019	3-7-2019			20-8-2019	21-8-2019		
Tijd start meting [hh:mm]	11:45	13:00			10:00	10:30			9:30	10:10			9:30	13:00		
Datum einde meting [dd-mm-yyyy]	6-2-2019	7-2-2019			21-5-2019	22-5-2019			3-7-2019	4-7-2019			21-8-2019	22-8-2019		
Tijd einde meting [hh:mm]	11:45	13:00			10:00	10:30			9:30	10:10			9:30	13:00		
Dagnummer in Jaar [#]	36	37			140	141			183	184			232	233		
<b>Productiekenngetallen</b>																
Opzetdatum dieren [dd-mm-yyyy]	4-1-2018	4-1-2018			9-5-2019	9-5-2019			9-5-2019	9-5-2019			9-5-2019	9-5-2019		
Ras																
Dagnummer in productieronde	397	398			11	12			54	55			103	104		
Aantal dieren geplaatst	11424	11424			11415	11415			11415	11415			11415	11415		
Aantal dieren aanwezig	10675	10675			11412	11412			11269	11269			10383	10347		
Uitval cumulatief [%]	6,56	6,56			0,03	0,03			1,28	1,28			9,04	9,36		
Diergewicht [g]	1850	1850			1650	1650			1850	1850			1850	1850		
Voeropname [g/dier per dag]	130	130			87	87			113	113			124	124		
Wateropname [ml/dier per dag]	222	222			109	109			232	232			200	200		
Water/voer-verhouding	1,71	1,71			1,25	1,25			1,25	1,25			1,61	1,61		
Leepercentage	84,2	84,2			30	30			94,5	94,5			97,1	97,1		
Gemiddeld eiengewicht	64,4	64,4			50,0	50,0			55,0	55,0			58,8	58,8		
<b>Buitenluchtcondities</b>																
Gem. temperatuur (KNMI) [°C]	4,6	6,7			12,6	12,6			16,2	15,7			15,4	15,8		
Gem. relatieve luchtvochtigheid (KNMI) [%]	94	87			91	80			64	66			75	75		
Windrichting (KNMI)	ZZW, Z	Z, ZW			NW, NW	NW, NW			NNW, N	N, NW			WZW, Z	Z, ZW		
Achtergrond PM10 (LML) [µg/m³]	18,4	11,6			21,5	17,6			12,6	17,3			14,0	17,3		
Achtergrond PM2.5 (LML) [µg/m³]	17,1	8,9			14,3	10,5			3,3	5,5			8,1	12,3		
<b>Stallucht en ventilatie</b>																
Luchttemperatuur [°C]	22,9	22,3			23,5	21,7			24,1	23,7			24,5	23,9		
Relatieve luchtvochtigheid [%]	67	70			68	69			57	56			63	66		
NH <sub>3</sub> -concentratie [indicator, ppm]	42	50			5,5	8			2	4			14	13		
CO <sub>2</sub> -concentratie [ppm]	3126	2675			1634	1432			1409	1464			1642	1368		
Ventilatiedebit stal [m³/h per dier]	0,78	0,94			1,94	2,32			2,04	1,93			1,66	2,13		
<b>Fijnstofconcentraties en -emissies</b>																
Concentratie PM10 stal en na filter [µg/m³]	4185	2675			9928	5973			5290	4093			5283	3972		
Emissie PM10 stal en na filter [g/dier per jaar]	29	18			168	101			94	73			77	58		
<b>Fijnstofreducties</b>																
Concentratiereductie filter PM10 abs. [µg/m³]	1510	2556			3954	2433			1198	2302			1311	2310		
Concentratiereductie filter PM10 [%]	36	57			40	36			23	37			25	35		

---

## 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. de concentraties en emissies van fijnstof (PM<sub>10</sub>) zijn vastgesteld met DustTraks (een lichtverstrooiingsmethode) in plaats van met een gravimetrische meetmethode;
- d. 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.
- e. de achtergrondconcentraties van fijnstof (PM<sub>10</sub>) zijn niet gemeten, hiervoor zijn achtergrondconcentraties gebruikt van het dichtstbijzijnde meetstation 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 -11,6%.

**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%	-45,5%	97,5%
90%	-38,2%	95%
80%	-31,1%	90%
70%	-26,8%	85%
60%	-23,7%	80%
50%	-21,2%	75%

Hierna wordt ingegaan op de onzekerheid die omissies a, b, c, d en e 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. Vanwege het ontbreken van metingen aan vergelijkbare technieken, is een inschatting van de tussenbedrijfsvariatie bij deze techniek niet mogelijk.

De keuze in de fijnstofpilots om metingen uit te voeren op één bedrijfslocatie brengt verder met zich mee dat het reductiepercentage van -11,6% gebaseerd is op één meetserie van zes in plaats van 12 waarnemingen. De gevonden reductie is niet statistisch significant afwijkend van nul. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval (de bovengrens en ondergrens waartussen voornoemde eindreductiepercentage met 95% zekerheid ligt) bedraagt bij de gevonden reductie  $\pm 34$  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  $\pm 21$  procentpunten.

Voor het vaststellen van een onzekerheidsmarge kan ook gebruik worden gemaakt van andere meetseries uit het verleden. In Winkel en Ogink (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.

*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 fijn stof voor veehouderij". Hier behoeven de Nederlandse protocollen een update.

*c. Meetmethode PM<sub>10</sub> indirect equivalent aan EN 12341:2014*

De toegepast meetmethode voor PM<sub>10</sub> (DustTraks, modellen 8520 en 8530) kent twee soorten fouten: de methode onderschat de werkelijke PM<sub>10</sub> concentratie in stallen (systematische fout of bias) en de methode kent een relatief grote variatie tussen apparaten (toevalsfout). Om deze reden was de methode nog niet opgenomen in het meetprotocol voor fijnstof (Ogink et al., 2011).

Echter, in het meest recente VERA protocol (VERA, 2018a) wordt reeds de eis gesteld dat een PM<sub>10</sub> meetmethode equivalent dient te zijn aan de EN 12341:2014 referentiesampler (CEN, 2014). Door correctiefactoren te gebruiken op de ruwe data van de DustTrak is dit apparaat indirect equivalent aan de referentiesampler gemaakt. De relatief grote toevalsfout van de methode is gecompenseerd door de metingen in duplo, d.w.z. met twee apparaten, uit te voeren. Vervolgens is het gemiddelde van beide concentraties genomen. Daarnaast zijn de diverse apparaten in de pilot voorafgaand aan en na afloop van elke meting met elkaar vergeleken om afwijkende apparaten op te sporen en vroegtijdig te reinigen en onderhouden. Op deze wijze zijn de DustTrak modellen inzetbaar voor het bemeten van relatieve verschillen tussen case- en controledagen. Hier behoeft het Nederlandse protocol uit 2011 een update. Voor het meten van PM<sub>10</sub> emissiefactoren die dus op absolute schaal accuraat dienen te zijn, verdient een gravimetrische methode de voorkeur. Deze methode is direct equivalent aan EN 12341:1994 en kent een kleinere toevalsfout tussen apparaten.

*d. 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 -10,5% bij 300 ppm, -11,6% bij 400 ppm en -12,9% 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.

*e. 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: in een "schone, verre achtergrond". 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). De aldus verkregen reductie van interne recirculatie met filtratie van de techniek bedroeg -11,3% bij een verlaging met 20 µg/m<sup>3</sup>, -11,6% bij de achtergrondconcentratie van het dichtstbijzijnde meetstation en -11,6% bij een verhoging met 20 µg/m<sup>3</sup>. 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. 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, beschadigingen aan de filters, leegstand van een 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 interne recirculatie met filtratie 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. Een punt waar niet aan voldaan wordt is het hogere uitvalspercentage. Dit percentage is in de tweede productieronde hoger geweest dan de norm in de landbouwkundige voorwaarden (en ook ten opzichte van de normen van de fokkerijgroepering). Dit wordt voor een groot deel veroorzaakt door de hoge buitentemperaturen tijdens de zomer van 2019 (maximum temperatuur >40 °C). Daarnaast had de koppel ook al een slechte start. Ook de voer- en wateropname, en de daaruit berekende water/voer-verhouding, valt niet binnen de landbouwkundige voorwaarden. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk ook het afwijkende weer tijdens de zomerperiode. Tot slot is één meting (nummer 4) uitgevoerd vrij snel nadat de dieren zijn opgezet. Er was toen nog geen eierproductie op basis waarvan het ventilatiedebiet kon worden berekend. Daarom zijn bij deze meting fictieve (lage) waarden ingevuld voor eierproductie en eigewicht. Voor alle afwijkingen geldt dat deze wel een effect zullen hebben op het absolute niveau van de emissie. Maar omdat hier sprake is van een vergelijking tijdens opeenvolgende dagen, heeft dit niet of nauwelijks effect op het emissie reducerende principe van deze techniek.

#### *Stabilisatietijd*

Tijdens twee metingen is de stabilisatietijd van minimaal één uur niet in acht genomen, de data laten echter geen reden zien deze metingen te laten vervallen.

#### *Effect recirculatie op stofconcentratie in de stal*

Vanwege de grote variatie in gemeten effect op de concentratie bij wel of geen recirculatie, is bij twee metingen ook op een andere plaats in de stal gemeten. Vraag hierbij was of de luchtstroom vanuit de recirculatiekleppen niet voor een hogere stofconcentratie zorgden in de omgeving van het meetpunt. In overleg met de leverancier is daarbij gekozen voor een meetpunt onder de inblaaskokers (de stal is voorzien van een gelijkdruk ventilatiesysteem). In figuur 4.1 is deze locatie weergegeven. De overweging voor deze meetlocatie is dat door de horizontale uitblaasrichting er ook stallucht wordt aangezogen, wat in principe een goed gemengde luchtstroom zal zijn. Uit de verkregen resultaten (zie bijlage 3) blijkt echter dat dit meetpunt eenzelfde variatie in concentraties (en daarmee ook berekende emissie) laat zien als het gekozen meetpunt bij het filter. Bij de ene meting was de concentratie lager dan bij het oorspronkelijke meetpunt, bij de andere meting hoger.



**Figuur 4.1** Meetpunt onder inblaaskoker.

#### *Andere meetrapporten*

Zoals eerder genoemd zijn de gebruikte filterelementen in vergelijkbare vorm aanwezig in de Droogfilterwand welke bij lengteventilatie kan worden toegepast. Voornoemde techniek is op twee bedrijfslocaties bemeten door Winkel et al. (2011). Uit die metingen kwam een gemiddelde reductie over het filter van 40% met een 95%-betrouwbaarheidsinterval van 32-48. De in dit onderzoek gevonden reductie over het filter van 36% valt binnen dat interval. Dit betekent dat nu drie bedrijfslocaties zijn bemeten met de filterelementen waarbij zeer reproduceerbare resultaten zijn verkregen. Er zijn geen andere metingen uitgevoerd aan de situatie van interne circulatie met filtratie conform meetprotocollen voor de agrarische sector (Ogink et al., 2011). Ook zijn er geen rapporten beschikbaar van door leverancier zelf uitgevoerde metingen.

#### *Neveneffecten en afwenteling*

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

In dit onderzoek zijn geen metingen verricht naar de reductie van PM<sub>2.5</sub>. Op basis de resultaten van Winkel et al. (2011) is de verwachting dat ook in deze situatie er geen reductie zal zijn voor PM<sub>2.5</sub>.

#### *Vertaling naar andere pluimveecategorieën*

Het systeem van de filters is als basis al opgenomen in de lijst met emissiefactoren onder de categorieën E 7.4, F 6.3 en G 4.3 (of BWL 2010.29). De keuze om te gaan recirculeren is dan aan de pluimveehouder. Daardoor is het toepasbaar bij alle andere pluimveecategorieën.



---

## 5 Conclusie

Uit dit onderzoek is een verwijdering van  $PM_{10}$  over de filterelementen gevonden van gemiddeld 36%. Deze reductie is statistisch significant. De reductie over het filter komt goed overeen met de 40% zoals in eerder onderzoek gevonden aan de droogfilterwand (Rav E 7.4) waarin hetzelfde filtermateriaal aanwezig is: de 36% valt binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval [32-48] rondom deze 40% reductie. Dit betekent dat de verwijderingsrendementen van de droogfilterwand en de Octafil techniek statistisch niet van elkaar zijn te onderscheiden. In deze studie is echter niet aangetoond dat de interne recirculatie met filtratie door de Octafil van de firma VEKO Ventilatie in staat is de emissie van  $PM_{10}$  uit leghennenstallen extra te reduceren ten opzichte van het filteren alleen. Op grond van zes metingen aan één leghennenstal, waarbij de relevante meetprotocollen zoveel mogelijk zijn gevolgd, bedraagt de reductie door het intern recirculeren gemiddeld **-12%**. Deze reductie is niet statistisch significant. De filterelementen zijn op zichzelf wel in staat om de emissie van  $PM_{10}$  te verminderen.

---

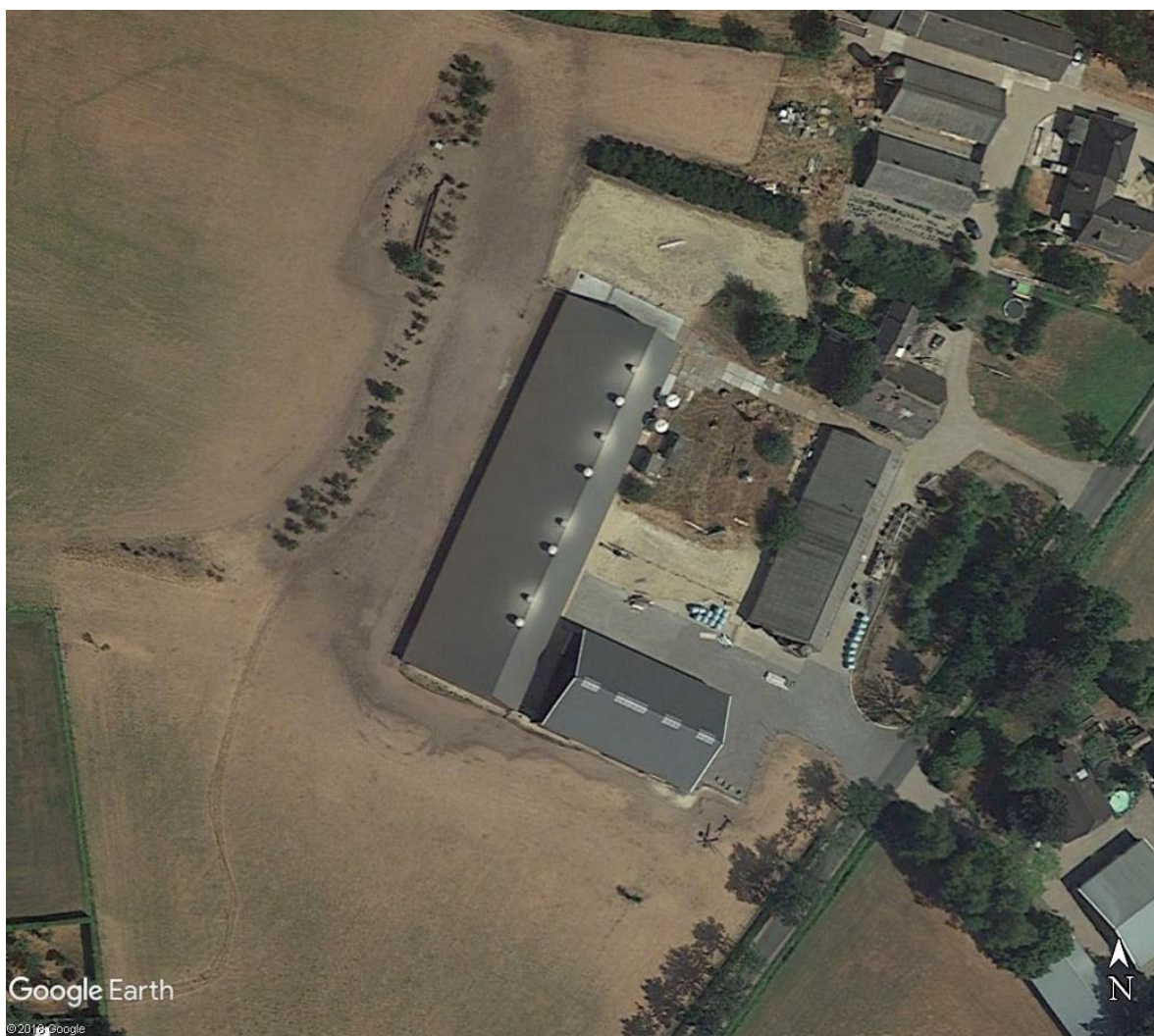
# Literatuur

- 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-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.
- 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.
- KWIN 2018-2019 Handboek 41, Kwantitatieve informatie Veehouderij 2018-2019. September 2019.
- 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.
- Monteny Milieu Adviees. 2019. Monitoring emissiereductie door ioniserende verlichting.
- 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.
- 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>

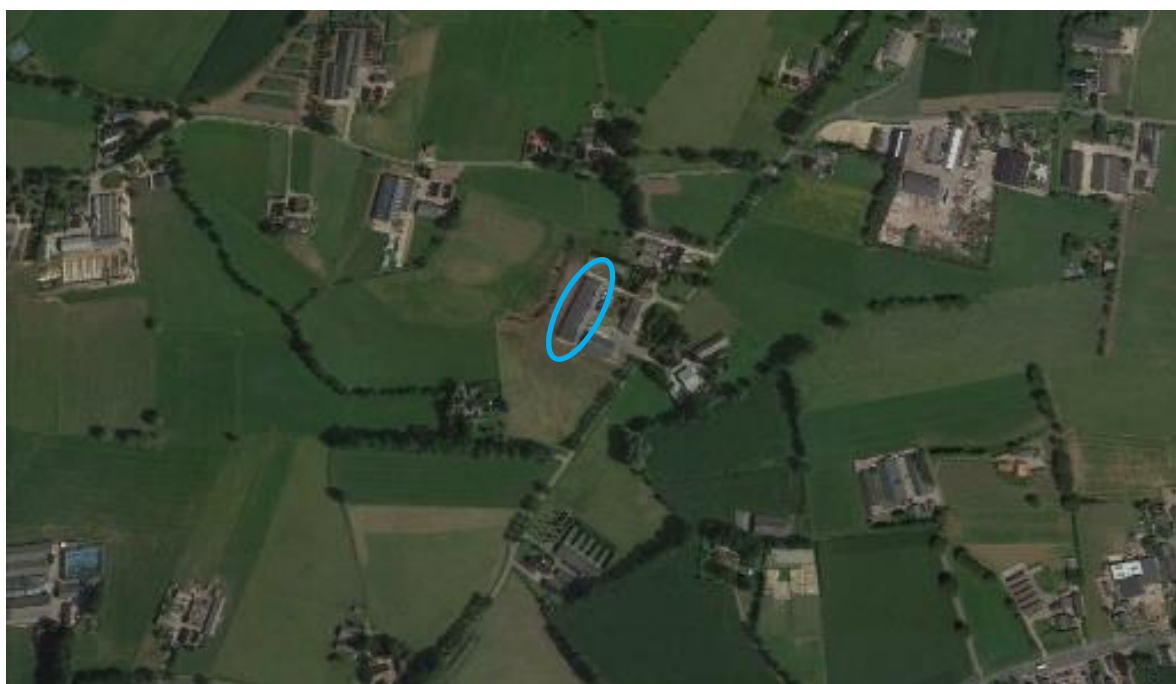
- 
- VERA. 2018a. Vera test protocol for air cleaning technologies. Version 2:2018-09. Delft, the Netherlands: International VERA Secretariat.
- VERA. 2018b. Vera test protocol for livestock housing and management systems. Version 3:2018-09. Delft, the Netherlands: International VERA Secretariat.
- VSN. 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.W.H. Huis in 't Veld, G.M. Nijeboer en N.W.M. Ogink. 2011. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een droogfilterwand op leghennenbedrijven. Rapport 394. 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., N.W.M. Ogink. 2020. Berekening van een onzekerheidsmarge voor fijnstof reducerende technieken bemeten bij één in plaats van twee bedrijfslocaties. Wageningen Livestock Research, Rapport 1239.

# Bijlage 1 Beschrijving stal

Kenmerk	Beschrijving
<b>Stal</b>	
Bouwjaar	2017 (In januari 2018 de eerste hennen)
Rav code en omschrijving	E 2.11.4 volièrehuisvesting, 55-60 % van de leefruimte roosters met daaronder een mestband met 0,2 m <sup>3</sup> per dier per uur mestbeluchting. Mestbanden minimaal eenmaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages (BWL 2005.05.V1)
Emissiefactoren (zonder filtersysteem)	(OctaFil stoffiltersysteem (BWL 2010.29.V1)) Emissie PM10: 65 g/dierplaats per jaar Emissie ammoniak: 0,037 kg/dierplaats per jaar Emissie geur: 0,34 OU <sub>E</sub> /dierplaats per seconde
Afmetingen (l x b x h <sub>goot</sub> /h <sub>nok</sub> )	63,0 x 15,0 x 3,3 x 7,6 m
Oriëntatie van de stal	ZZW (voorgevel) – NNO (achtergevel)
<b>Dieren</b>	
Aantal hennen bij opzet	Ca. 11.500
Bezettingsgraad bij opzet	Ca. 14 kippen per m <sup>2</sup> strooiselvloeroppervlak (zonder overdekte uitloop)
Merk hen	NOVOgen Brown Classic
<b>Klimaatregeling</b>	
Beschrijving luchtinlaat	Mechanische luchtinlaat via 4 ventilatie-units in de lengte van de nok van de stal: Ø 120 cm, elk max. ca. 42.000 m <sup>3</sup> /uur, tevens mestbandbeluchting: 0,7 m <sup>3</sup> /uur per hen
Beschrijving luchtuitlaat	Mechanische luchtuitlaat via 4 ventilatie-units in de lengte van de nok van de stal: Ø 120 cm, elk max. ca. 42.000 m <sup>3</sup> /uur Totaal: ca. 126.000 m <sup>3</sup> /uur (ca. 10,4 m <sup>3</sup> /uur per hen). Aan iedere unit is een VEKO (OctaFil) stoffiltersysteem gekoppeld
Ventilatieregeling	Op basis van staltemperatuur en onderdruk
Streef temperatuur	Ca. 19–20 °C
Verwarmingssysteem	Geen
<b>Bedrijfsvoering</b>	
Beschrijving houderijsysteem	Volièrehuisvesting in 3 systeemrijen en 4 strooiselgangen. (systeemplengte: ca. 56 m). De stellingen hebben 3 leefniveaus. Aan de westzijde is, over de lengte van de stal, een overdekte uitloop van 7,5 m aanwezig. Middels 16 openingen van 1.4 x 0,5 m hebben de hennen toegang tot de overdekte en onoverdekte uitloop. Tijdens de metingen was de uitloop gesloten.
Beschrijving voersysteem	Voerkettingen door het volièresysteem: 1 voerlijn per systeemrij.
Voertijden	Voertijden: vijf- tot zesmaal per dag, verspreid over de lichtperiode
Voer	Legmeel 1, 2 en 3
Beschrijving drinkwatersysteem	Waterlijnen met drinknippels zonder lekschotelletjes: 2 lijnen per systeemrij
Drinktijden	Tijdens lichttijden
Strooiselmanagement	De stal wordt ingestrooid met laag van 2 cm koolzaadstro. Verder wordt incidenteel strooisel toegevoegd
Beschrijving verlichting	Boven de strooiselgangen hangen LED-lampen
Lichtregime	15L:9D, licht aan van 04:00–19:00 uur (wintertijd)
Schoonmaakregime	Na ruimen van de kippen wordt de strooiselmest verwijderd en de stal droog gereinigd
<b>Productiecyclus</b>	
Leeftijd bij opzet	Ca. 17 weken
Leeftijd bij ruimen	Ca. 84 weken
Leegstand tussen koppels	Ca. 3 weken

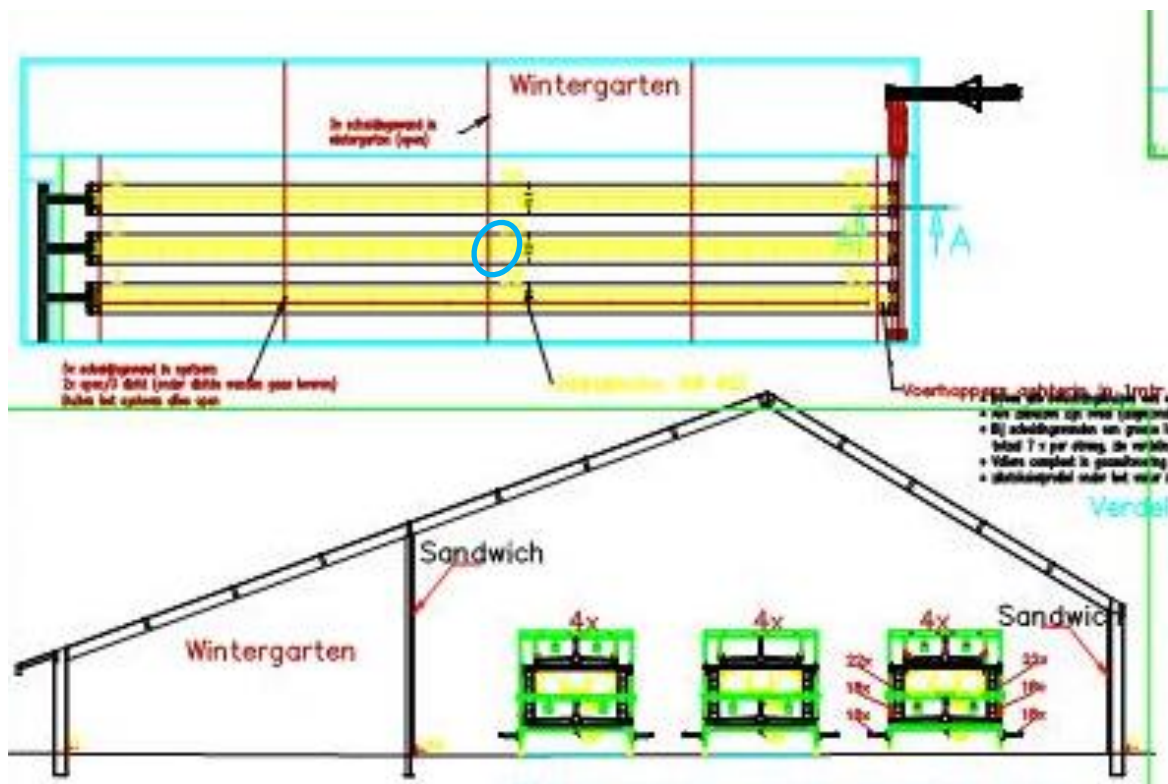


*Luchtfoto bedrijf.*



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





Plattegrond en doorsnede stal. Metingen zijn uitgevoerd op de blauw omcirkelde locatie.



Aanzicht stal vanuit de verte. Het lage gedeelte links is de overdekte uitloop. Zowel overdekte als vrije uitloop waren niet in gebruik tijdens de meetdagen.



*Vrije uitloop (niet in gebruik tijdens de metingen)*



*Doorzicht stal met inblaaskokers (1) en Octafil bij afzuigkokers (2).*





*Detail Octafil met recirculatieklep*



## 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 CO <sub>2</sub> --concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft.	Ja, op één meetdag na
Voeding	De kippen krijgen een gangbaar voerschema (CVB) met minimaal 14 g RE/omzetbare energie leghennen (OEIh in MJ/kg) in het voer. Het voerverbruik per aanwezige legkip vanaf 20 weken dient minimaal 105 g per dier per dag te zijn. Waterverstrekking gebeurt onbeperkt.  Verklaring van geen gebruik van diervoedertoevoegingsmiddelen die mogelijk als hoofd- of nevenwerking een verlagend effect hebben op de pH van de urine en/of de ureumuitscheiding via de urine.	Ja, 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 productieperiode.	Nee, vanwege slechte start koppel en zomer met hoge buitentemperaturen was de uitval hoog.
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 waterververbruik 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>- productie: 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>- CO<sub>2</sub>-concentratie</li> <li>- de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen</li> </ul>	Nee, deze kengetallen hebben geen effect op fijnstofemissie       Ja

## Bijlage 3    Overzicht alle meetdata

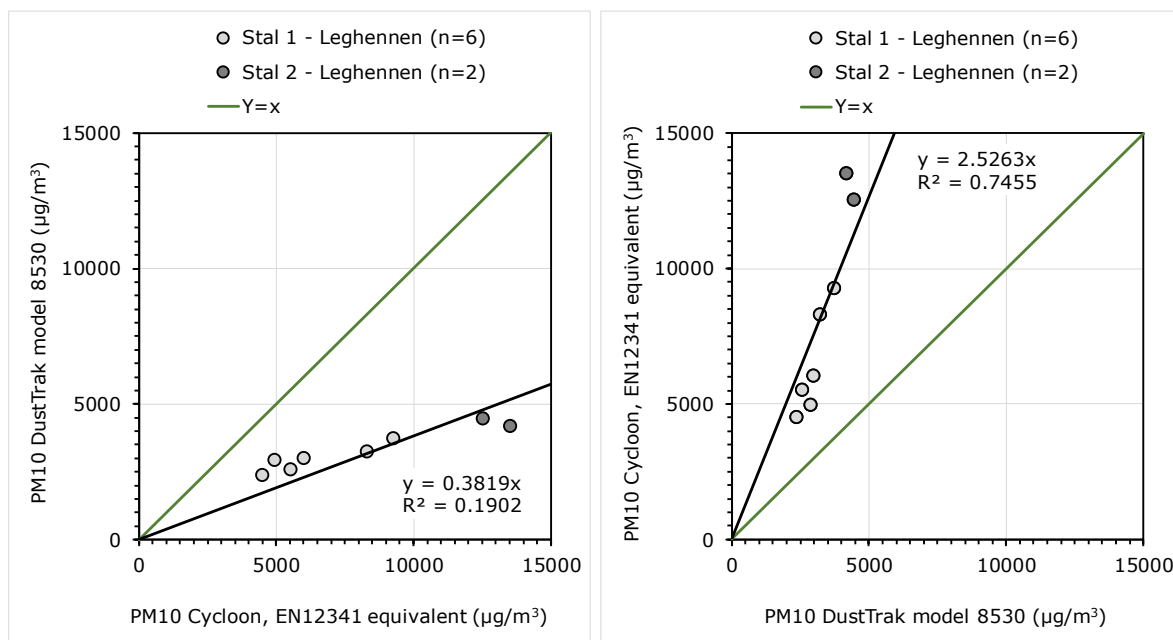
Variabele [eenheid]		METING 1			METING 2			METING 3			METING 4			METING 5			METING 6			METING 7			METING 8						
zonder recirculatie		Stal	Filter	Na filter	zonder recirculatie met recirculatie			zonder recirculatie met recirculatie			zonder recirculatie met recirculatie			zonder recirculatie met recirculatie			zonder recirculatie met recirculatie			zonder recirculatie met recirculatie			zonder recirculatie met recirculatie						
		Stal	Filter	Na filter	Stal	Na filter	Stal	Na filter	Stal	Na filter	Stal	Na filter	Stal	Na filter	Stal	Na filter	Stal	Na filter	Stal	Na filter	Stal	Na filter	Stal	Na filter	Stal	Na filter			
Algemeen																													
Datum start meting (dd-mm-yyyy)		29-8-2018	30-8-2018	5-2-2019	6-2-2019	10-4-2019	9-4-2019	20-5-2019	21-5-2019	2-7-2019	3-7-2019	20-8-2019	21-8-2019	22-10-2019	23-10-2019	12-11-2019	13-11-2019												
Tijd start meting [h:mm]		12:39	13:01	11:45	13:00	10:00	10:00	10:00	10:30	9:30	10:10	9:30	10:10	9:56	11:00	9:19	12:37												
Datum einde meting (dd-mm-yyyy)		30-8-2018	31-8-2018	6-2-2018	7-2-2018	10-4-2019	11-4-2019	21-5-2019	22-5-2019	4-7-2019	4-7-2019	21-8-2019	22-8-2019	23-10-2019	24-10-2019	13-11-2019	14-11-2019												
Tijd einde meting [h:mm]		12:41	13:00	11:45	13:00	10:00	10:00	10:00	10:30	9:30	10:10	9:30	10:10	9:54	10:58	9:17	12:35												
Dagnummer in jaar [°]		241	242	36	37	99	100	140	141	183	184	232	233	295	296	316	317												
Productiekarakteristieken																													
Onzetdatum dieren (dd-mm-yyyy)		4-1-2018	4-1-2018	4-1-2018	4-1-2018	4-1-2018	4-1-2018	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019	9-5-2019												
Ris		237	238	397	398	460	461	11	12	54	55	103	104	166	167	187	188												
Aantal dieren productieronde		11424	11424	11424	11424	11415	11415	11415	11415	11415	11415	11415	11415	11415	11415	11415	11415												
Aantal dieren aanwezig		11120	10675	10675	10675	11412	11269	11269	11412	11269	11269	10383	9351	9351	9319	8996	8996												
Uitval cumulatief [%]		2,66	6,56	6,56	6,56	1,28	0,03	0,03	1,28	0,03	1,28	9,04	9,36	18,08	18,36	21,19	21,19												
Diergewicht [g]		1850	1850	1850	1850	1850	1850	1650	1650	1850	1850	1850	1850	1380	1380	1380	1380												
Voeropname [g/dier per dag]		123	130	123	130	123	87	87	113	113	113	124	124	125	125	125	125												
Wateropname [ml/dier per dag]		206	222	222	171	1,71	1,25	1,25	2,05	2,05	2,05	200	200	80	80	157	101,7												
Water/voer-verhouding		1,67	1,71	1,71	1,67	1,25	1,25	1,61	1,25	1,61	1,25	0,64	0,64	0,64	0,64	1,26	0,81												
Lepercentage		91,4	84,2	84,2	84,2	50,0	30	30	94,5	94,5	94,5	97,1	97,1	95,6	95,6	95,1	95,1												
Gemiddeld diergewicht		61,9	61,9	64,4	64,4	61,9	55,0	55,0	55,0	58,8	58,8	60,3	60,3	61,2	61,2	61,2	61,2												
Buitenluchthondries																													
Gen. temperatuur (KMW) [°C]		14,9	13,7	4,6	6,7	7,8	6,1	12,6	12,6	15,7	15,7	15,4	15,4	11,5	13,1	56	59												
Gen. relatieve luchtvochtigheid (KMW) [%]		83	94	87	60	58	75	91	80	64	66	75	75	90	87	88	88												
Windrichting (KMW)		N, NW	N, NW	Z, ZW	NW, NW	NW, NW	NW, NW	NW, NW	NW, NW	NW, NW	NW, NW	WZ, WZ	Z, ZW	ZW, ONO	ONO, ZZW	Z, ZZW	ZZW, ZZW												
Achtergrond PM10 [µg/m³]		19,9	11,0	18,4	11,6	18,3	21,5	17,6	17,6	12,6	17,3	14,0	12,3	20,7	20,7	7,9	10,8												
Achtergrond PM2,5 [µg/m³]		12,3	6,1	17,1	8,9	12,0	9,1	14,3	10,5	3,3	5,5	8,1	12,3	13,2	13,4	10,8	10,8												
Slaalich en ventilatie																													
Luchttemperatuur [°C]		20,7	23,2	22,9	22,9	22,3	22,3	23,5	22,6	21,7	20,8	24,1	24,1	23,7	23,7	24,5	24,8	23,9	24,0	23,6	23,3	24,0	23,4	21,5	20,8	21,9	21,2		
Relatieve luchtvochtigheid [%]		73	74	69	66	67	70	70	70	68	69	57	60	56	59	63	66	58	61	71	72	73	74	72	72	76	78		
NH-concentratie [indicatie; ppm]		3	3	28	30	42	50	42	50	8	8	2	4	4	14	14	13	13	22	26	26	26	34	34	45	45			
CO-concentratie [ppm]		3485	4688	2537	3616	2675	1634	1634	1634	1432	1432	1409	1464	1464	1642	1368	1368	2152	1368	1368	1368	1961	1961	2917	2970	2970			
Ventilatieblaas snel [m³/h per dier]		0,68	0,49	0,38	0,65	0,94	1,94	1,94	2,32	2,32	2,04	1,93	1,93	1,66	2,13	2,13	1,66	2,13	2,13	0,98	1,10	0,98	0,69	0,69	0,67	0,67			
Fijnstofconcentraties en -emissies																													
Concentratie PM10 stal en na filter [µg/m³ *1]		101,69	5875	8967	7092	4185	2075	4476	1921	9928	5973	6848	4415	5200	4093	6238	3936	5283	3972	4243	3166	2562	3434	2142	3451	3382	2467	2850	
Emissie PM10 stal en na filter [g/dier per jaar]		*	25	77	40	29	18	37	16	168	101	139	89	94	73	105	66	77	58	122	79	27	22	33	21	21	20	14	17
Fijnstofreducties																													
Concentratie reductie filter PM10 abs. [µg/m3]								1510	2556			2433				2302													
Concentratie reductie filter PM10 [%]								36	57			36				23													
Concentratie reductie stal recircul PM10 abs. [µg/m3]												3080																	
Concentratie reductie stal recircul PM10 [%]																													
Emissie reductie PM10 recircul [g/dier per jaar]			*	-15				-8				30																	
Emissie reductie reductie PM10 [%]				-61				-28				18																	
Emissie reductie PM10 reductie en filter [g/dier per jaar]			*	*				45				79																	
Emissie reductie PM10 reductie en filter [%]			*	*				45				47																	

## Bijlage 4 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 regressielijn 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 5 Kalibratie meetapparatuur

### *Fijnstof-analyse PM<sub>10</sub>*

DustTrak Aerosol Monitor Model 8520 en DustTrak II Aerosol Monitor Model 8530.

Alle gebruikte instrumenten hebben een recent certificaat van de leverancier. Na iedere stalmeting van ruim 2 x 24 uur zijn de instrumenten van buiten en binnen goed schoon gemaakt en indien nodig weer van een nieuw filter voorzien. Dit laatste geeft het instrument zelf aan.

Vervolgens hebben de instrumenten in het luchtlaboratorium gedurende enkele dagen in de zogenaamde survey-mode gedraaid. Hierbij wordt het instrument gespoeld met de relatief schone omgevingslucht. Middels een 'nul-filter' is gecontroleerd of de zero-waarde moest worden aangepast. Bij model 8520 werd voor iedere meting de nieuwe nul-waarde ingevoerd. Bij model 8530 is het nullen van het toestel lastiger en is gekozen om de actuele nulwaarden te noteren en later, tijdens de gegevensverwerking voor de hogere nulwaarde te corrigeren. Na circa 3 dagen spoelen zijn de instrumenten uitgezet en klaargezet voor de volgende metingen.

Jaarlijks worden de instrumenten teruggestuurd naar de leverancier voor onderhoud en justeren, gekoppeld aan een nieuw certificaat.

### *CO<sub>2</sub>-analyse*

Testo type 435 met IAQ-probe voor CO<sub>2</sub> en Vaisala CO<sub>2</sub>-sensor met Carbon Dioxide Probe GMP252.

De instrumenten hebben recente certificaten van de leverancier. Voordat de instrumenten in het onderzoek werden ingezet zijn ze geijkt in het eigen luchtlaboratorium. Middels het aanbieden van een verdunningsreeks CO<sub>2</sub> kalibratiegas is de ijklijn van ieder instrument vastgesteld.

De Testo werd op een gegeven ogenblik instabiel en is daarna, na een gezamenlijke overbruggingsperiode, vervangen door de Vaisala-sensoren. De Vaisala-sensoren hebben geen eigen opslaggeheugen en zijn daardoor ingezet in combinatie met Koenders dataloggers.

### *Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid*

Escort RH iLogger EI-HS-D-32-L.

De logger staat ingesteld op een meetfrequentie van 2 minuten. Na iedere meting wordt het instrument goed schoongemaakt. Vervolgens komt het in een houder te liggen samen met enkele andere sensoren. Hierdoor kan een mogelijke afwijking worden vastgesteld. Deze loggers zijn niet recentelijk geijkt. Ze worden daarom slechts gebruikt ter indicatie van de meetomstandigheden.

Temperatuurbereik: -40°C tot +70°C

Luchtvochtigheidsbereik: 0-100%RH

Nauwkeurigheid:

± 0.35°C (van -40°C tot 0°C)

± 0.25°C (van 0°C tot +70°C)

Luchtvochtigheid ± 3%

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 UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO 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, 6.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR 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.

