



Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen

Granovi warmtewisselaar met absoluutfilter en recirculatie

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

RAPPORT 1224



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen: Granovi warmtewisselaar met absoluutfilter en recirculatie

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

Wageningen Livestock Research
Wageningen, mei 2020

Rapport 1224

Goselink, Y.,H. Ellen, J. Huis in 't Veld, A. Winkel, 2020. Pilots naar de vermindering van fijnstofemissie uit pluimveestallen: de warmtewisselaar van Granovi. Wageningen Livestock Research, Rapport 1224.

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 Granovi warmtewisselaar met absoluutfilter en recirculatie, geïnstalleerd in een vleeskuikenstal. In afwijking van de meetprotocollen is er in de zogenaamde "fijnstof pilots" aan één (in plaats van twee) bedrijfslocaties gemeten. Uit de metingen blijkt dat het systeem met recirculatie de emissie van fijnstof (PM10) met gemiddeld 22% vermindert.

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 Granovi heat exchanger with absolute filter and recirculation, installed inside a broiler barn. In deviation from the measurement protocols, the so called "fine dust pilots" included one (instead of two) farm locations. The measurements show that the system reduces the emission of fine particulate matter (PM10) with 22%.

Dit rapport is gratis te downloaden op : <https://doi.org/10.18174/522129> of op 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,
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.

Wageningen Livestock Research Rapport 1224

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Wetenschappelijke probleembeschrijving	9
	1.2 Aanleiding	9
	1.3 Afbakening en doelstelling	10
	1.4 Opzet rapport	10
2	Materiaal en methoden	11
	2.1 Beschrijving techniek en werkingsprincipe	11
	2.2 Beschrijving stal en bedrijfssituatie	12
	2.3 Meetstrategie	12
	2.4 Meetmethoden	15
	2.4.1 Fijnstof (PM ₁₀)	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 reductiepercentage op stalniveau fijnstofemissie met bandbreedte	17
	2.5.4 Statistische analyses	18
3	Resultaten	19
	3.1 Meetomstandigheden	19
	3.2 CO ₂ -concentratie en ventilatie-debiet	21
	3.3 Concentratie, emissie en reductie PM ₁₀ door recirculatie	22
	3.4 Concentratie, emissie en reductie PM ₁₀ absoluutfilter	24
4	Discussie	27
5	Conclusie en advies	32
	Literatuur	33
	Bijlage 1 Beschrijving stal	35
	Bijlage 2 Landbouwkundige voorwaarden	40
	Bijlage 3 Overzicht alle meetdata	41
	Bijlage 4 Bepaling correctiefactor voor DustTrak model 8530	42
	Bijlage 5 Kalibratie meetapparatuur	43

Woord vooraf

In de zoektocht voor pluimveebedrijven naar de mogelijkheden om de emissie van fijnstof (PM₁₀) 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 (PM₁₀) in de buitenlucht die geassocieerd worden met gezondheidseffecten bij mensen. In deze pilot is onderzocht in welke mate de Granovi warmtewisselaar met absoluutfilter en recirculatie in staat is om de emissie van fijnstof uit vleeskuikenstallen 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 warmtewisselaar van de Granovi bestaat uit zowel een fijnstoffilter als een kruisstroomwisselaar. De warmtewisselaar gebruikt de warme ventilatielucht die de stal verlaat om de binnenkomende koude lucht voor te warmen. Voordat de ventilatielucht de warmtewisselaar in gaat, wordt deze eerst door een grof- en vervolgens absoluutfilter geleid. Dit geeft een lagere fijnstofuitstoot naar buiten toe. Afhankelijk van de CO₂-concentratie en temperatuur van de stallucht wordt een deel van de ventilatielucht door de beide filters gerecirculeerd. Dit geeft op stalniveau een lagere fijnstofconcentratie. De metingen zijn uitgevoerd in een stal met ongeveer 19.000 vleeskuikens. In de stal waren 4 warmtewisselaars aanwezig die een deel van de ventilatielucht recirculeerden.

Meetstrategie en meetmethoden

In dit onderzoek is een zogenaamde "case-control strategie in de tijd" gehanteerd. Dit betekent dat het systeem in principe de gehele productieperiode aan stond maar dat er tijdens elke meting eerst 24 uur gemeten werd met het systeem aan (case), gevolgd door een tweede periode van 24 uur terwijl het systeem uitgeschakeld was (control). 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. De metingen werden ongebalanceerd gespreid over de productieperiode: er zijn meer metingen aan het einde van de ronde uitgevoerd om de meest nauwkeurige schatting van emissies en reductie te verkrijgen bij de hoogste emissieniveaus. Tevens werd geprobeerd de metingen zo goed mogelijk te spreiden over het jaar. De metingen betroffen: temperatuur en relatieve vochtigheid, CO₂-concentratie (t.b.v. het berekenen van het ventilatiedebiet middels de CO₂-balansmethode) en concentratie van PM₁₀. Uit de combinatie van ventilatiedebiet en PM₁₀-concentratie is de PM₁₀-emissie berekend.

Resultaten

In totaal werden zeven metingen uitgevoerd, waarvan zes gebruikt konden worden voor het bepalen van het reductiepercentage. Uit de statistische analyse bleek dat alleen het ventilatiedebiet trendmatig afwijkt tussen case- en controledagen, dit wordt grotendeels veroorzaakt door één afwijkende meting. Dit is waarschijnlijk een toevalsvinding geweest. Daarom kan uit worden gegaan van een zuivere vergelijkingsbasis. De concentratie van PM₁₀ werd significant verlaagd met gemiddeld 22% in de stal met behulp van de recirculatie. De emissie van PM₁₀ werd significant verlaagd met gemiddeld 40% door de absoluutfilters bij een capaciteit door de warmtewisselaar tot maximaal 1 m³/h per dier voor trager groeiende vleeskuikens.

Conclusie

De warmtewisselaar van de firma Granovi is in staat de emissie van PM₁₀ in vleeskuikenstallen te reduceren. Op grond van zes metingen aan één vleeskuikenstal, waarbij de relevante meetprotocollen zoveel mogelijk zijn gevolgd, bedraagt deze reductie gemiddeld 22%. Deze reductie is statistisch significant verschillend van nul. De fijnstofemissie van de stal kan 40% verlaagd worden bij een capaciteit door de warmtewisselaar tot maximaal 1 m³/h per dier voor trager groeiende vleeskuikens. Rekening houdend met een onzekerheidsmarge van 10 procentpunten vanwege het meten op slechts één bedrijfslocatie, is het advies om een reductiepercentage op te nemen van 12%.



1 Inleiding

1.1 Wetenschappelijke probleembeschrijving

Fijnstof, oftewel PM₁₀ is een verzamelnaam voor vaste en vloeibare deeltjes kleiner dan 10 micrometer¹ 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 een 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/m³ bedragen waarbij er jaarlijks maximaal 35 overschrijdingsdagen zijn toegestaan. Daarnaast mag de concentratie van fijnstof jaargemiddeld maximaal 40 µg/m³ bedragen. De World Health Organization hanteert een Air Quality Guideline limiet van jaargemiddeld een aanzienlijk lagere 20 µg/m³ (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 endotoxinen² (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 COPD³, meer longontstekingen, meer klachten van de luchtwegen en een verlaagde longfunctie.

1.2 Aanleiding

In de Foodvalley regio, een regio van acht gemeenten⁴ met samen circa 350.000 inwoners, komen relatief hoge concentraties voor van fijnstof, ammoniak (NH₃) 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

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

² Endotoxinen zijn celwanddelen van Gram-negatieve bacteriën die sterk ontstekingsbevorderend zijn.

³ COPD: Chronic Obstructive Pulmonary Disease = Chronische Obstructieve Long Aandoeningen.

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

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

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

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

Hoewel het PEV zich wil richten op het verminderen van emissies van alle vormen van luchtverontreiniging uit stallen, is er in eerste instantie gekozen om de aandacht te richten op technieken die de emissie van fijnstof reduceren. Hiertoe is een traject opgestart waarbij innoverende leveranciers van technieken hun systeem aan konden melden met daarbij relevante informatie over o.a. het werkingsprincipe, het verwachte reductiepercentage en de jaarkosten voor veehouders. Via een selectieprocedure zijn acht technieken geselecteerd die op veehouderijbedrijven zijn geïnstalleerd om het effect daarvan op de emissie van PM₁₀ 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 warmtewisselaar van de firma Granovi, geïnstalleerd in een vleeskuikenstal. 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.

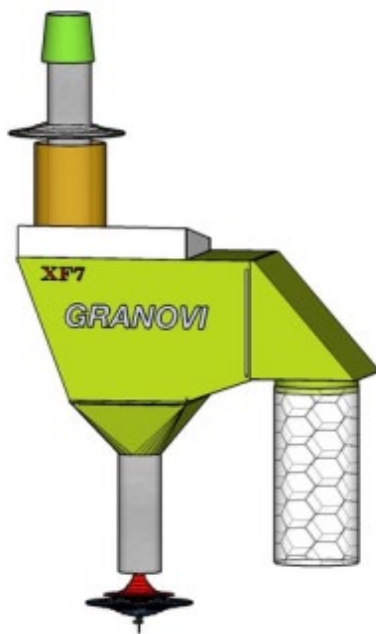
2 Materiaal en methoden

2.1 Beschrijving techniek en werkingsprincipe

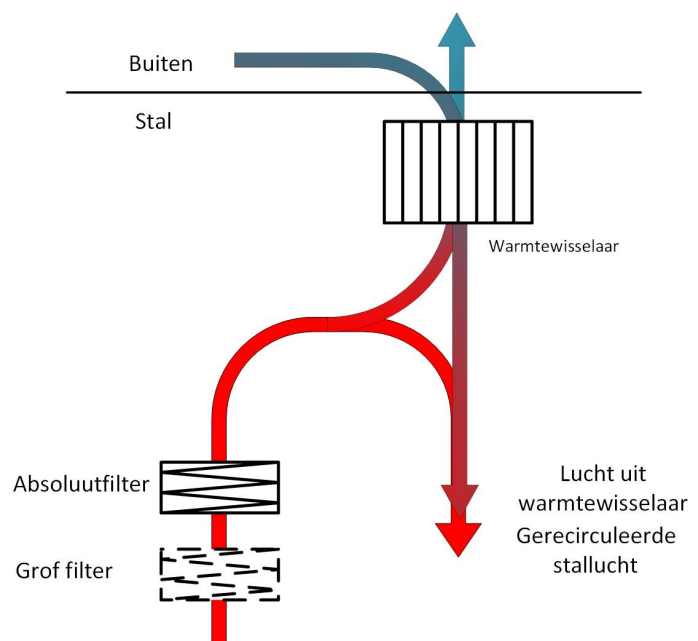
De warmtewisselaar van Granovi bestaat uit zowel een fijnstoffilter als een kruisstroomwisselaar. De warmtewisselaar gebruikt de warme ventilatielucht die de stal verlaat om de binnenkomende koude lucht voor te warmen. Voordat de ventilatielucht de warmtewisselaar in gaat, wordt deze eerst door een grof- en vervolgens absoluutfilter geleid. Afhankelijk van de CO₂-concentratie en temperatuur van de stallucht wordt een deel van de ventilatielucht door de beide filters gerecirculeerd middels een regelklep. Dit geeft op stalniveau een lagere fijnstofconcentratie (Granovi, 2019). De warmtewisselaar kan maximaal 5.000 m³/uur lucht recirculeren en 6.000 m³/uur de stal uitblazen. Tijdens de metingen is de recirculatie handmatig op 50% gezet.

Figuur 2.1-A geeft een specificatie van de warmtewisselaar (Granovi, 2019). Figuur 2.1-B toont de luchtstromen door de warmtewisselaar waarvan een deel van de lucht wordt gerecirculeerd terug de stal in. Deze lucht is door een grof en absoluutfilter geweest en bevat daardoor minder stof. Figuur 2.1-C geeft een weergave van de techniek zoals toegepast in de proefstal waarin is gemeten.

Het systeem van een warmtewisselaar met filter is als basis al opgenomen in de lijst met emissiefactoren onder de categorieën E 7.6, E 7.7, E 7.11 en E 7.12, F 6.5 t/m F 6.8 en G 4.4 t/m G 4.7.



Figuur 2.1-A Schematische afbeelding van de warmtewisselaar (Bron: Granovi, 2019).



Figuur 2.1-B Schematische weergave van de werking van de warmtewisselaar.



Figuur 2.1-C De warmtewisselaar in de stal waar is gemeten. Op de foto is één van de units blauw omcirkeld.

2.2 Beschrijving stal en bedrijfssituatie

De metingen zijn uitgevoerd in een stal met ongeveer 19.000 vleeskuikens. De stal had een lengte van 80 m en een breedte van 19 m (zie ook figuur 2.1-C). In de stal werden kuikens van een trager groeiend ras gehouden, in de laatste ronde werden reguliere vleeskuikens gehouden (met dezelfde bezetting). Voor de ventilatie van de stal werd gebruik gemaakt van zes nokventilatoren. In de eindgevel waren drie V-snaarventilatoren aanwezig die alleen bijspringen op warme dagen. Lucht kwam de stal binnen via de warmtewisselaars of inlaatventielen in de zijwanden. De ventilatiecapaciteit werd geregeld op basis van zowel CO₂-concentratie als temperatuur. Van de zes nokventilatoren waren er vier uitgerust met een warmtewisselaar die een deel van de ventilatielucht recirculeerden. De warmtewisselaars zijn evenredig verdeeld over de stal. Aan één kant van de stal was een overdekte uitloop aanwezig, deze is niet in gebruik geweest tijdens de meetdagen. In bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de belangrijkste kenmerken van de stal en enkele managementaspecten, samen met enkele foto's en een overzichtsfoto van het bedrijf.

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, 2018). Deze protocollen schrijven o.a. het volgende voor:

- een techniek moet op twee bedrijfslocaties wordt 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 CO₂-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 (PM₁₀) zijn vastgesteld met DustTraks (een lichtverstrooiingsmethode) in plaats van met een gravimetrische meetmethode;
- d. het ventilatiedebiet is vastgesteld aan de hand van de CO₂-balansmethode op grond van metingen van CO₂ in de stal (conform het meetprotocol) maar met een vaste (niet gemeten) achtergrondwaarde voor CO₂ in de buitenlucht.
- e. de achtergrondconcentraties van fijnstof (PM₁₀) zijn niet gemeten, hiervoor zijn achtergrondconcentraties gebruikt van het dichtstbijzijnde meetstation van het Luchtmeetnet (RIVM, 2019).

De metingen zijn ongebalanceerd gekozen over de groeironde. Dat wil zeggen: er zijn meer metingen aan het einde van de ronde uitgevoerd om de meest nauwkeurige schatting van emissies en reductie te verkrijgen bij de hoogste emissieniveaus. Deze ongebalanceerde verdeling van metingen over de productieperiode is al opgenomen in het huidige ammoniak meetprotocol (Ogink et al., 2017), echter nog niet in het meest recente fijnstof meetprotocol van 2011.

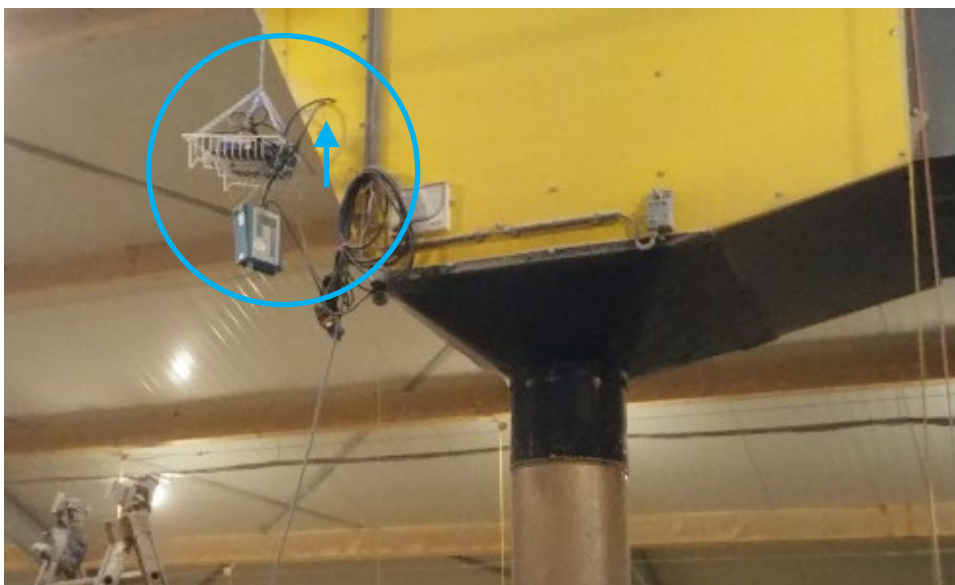
Er zijn in totaal zeven metingen uitgevoerd, waarvan zes bruikbare resultaten opleverden. Metingen zijn uitgevoerd gedurende ca. 24 uur. Gedurende de onderzoeksperiode heeft de reducerende techniek in de stal normaal gesproken op 'aan' gestaan. Tijdens de eerste meting is eerst 24 uur gemeten met de techniek aan, waarna aan het eind van de meting de techniek op 'uit' is gezet. Na een stabilisatieperiode van minimaal 24 uur is gedurende 24 uur gemeten met de techniek uit. Na de eerste meting zijn de case- en controledagen omgedraaid. De pluimveehouder heeft daarbij 24 uur voor de aanvang van de 'uit'-meting de techniek uitgeschakeld. Vervolgens 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 warmtewisselaar met recirculatie te kunnen meten. De reden voor deze wijziging in de meetstrategie was dat er bij de eerste metingen grote verschillen waren in buitenklimaat tussen case- en controledagen dat zich mogelijk vertaalt in verschillende ventilatiedebieten en daarmee een minder zuivere vergelijkingsbasis tussen de twee dagen. Om een reductie van de emissie zo zuiver mogelijk te kunnen toeschrijven aan de werking van de reducerende techniek zijn de meetdagen dichter bij elkaar gekozen; met een kleinere kans op grote verschillen in buitenklimaat. Bij deze techniek bestond de aan-meting uit het handmatig instellen van de recirculatie op 50%.

Tijdens voornoemde meetdagen zijn de concentraties van fijnstof (PM₁₀) en koolstofdioxide (CO₂) gemeten, alsook de temperatuur en relatieve vochtigheid (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: Gilze-Rijen) en het RIVM (voor PM₁₀, locatie: Biest-Houtakker) voor dezelfde periode als de meetperioden. Voor de concentratie van CO₂ in de buitenlucht is een vaste waarde van 400 ppm genomen.

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. Figuur 2.3 geeft de situatie in de bemeten stal weer tijdens het meten achter het absoluutfilter. Hier wordt met een slang lucht vanuit de ruimte achter het absoluutfilter naar de DustTrak gezogen.



Figuur 2.2 Plaats van de meting van de concentraties in de stal (blauw omcirkeld). De blauwe pijl geeft de luchtstroom aan de warmtewisselaar in.



Figuur 2.3 Plaats van de meting van de concentraties achter het absoluutfilter (blauw omcirkeld). De blauwe pijl geeft de slangen aan die achter het absoluutfilter lucht aanzuigen.

2.4 Meetmethoden

Een omschrijving van het onderhoud en kalibraties van onderstaande instrumenten is te vinden in bijlage 5.

2.4.1 Fijnstof (PM₁₀)

De concentratie van fijnstof (PM₁₀; mg/m³) is in duplo gemeten met een DustTrak apparaat (DustTrak™ Aerosol Monitor, modellen 8520 en 8530, TSI Inc., Shoreview, USA; zie voor beide modellen figuur 2.3). De PM₁₀-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 8520 is dat de factor 1,84 zoals gepubliceerd door Winkel et al. (2015a) en Cambra-López et al. (2015). Voor de metingen uitgevoerd met model 8530 is dat de factor 1,26 die door WLR is bepaald op dezelfde wijze als is gedaan in Winkel et al. (2015a). De resultaten van de metingen die ten grondslag liggen aan deze correctiefactor staan in bijlage 4.



Figuur 2.3 Gebruikte DustTrak-modellen voor het meten van PM₁₀. Links model 8520, rechts model 8530.

2.4.2 Ventilatie-debiet

Ten behoeve van het vaststellen van het ventilatie-debiet is de concentratie van koolstofdioxide (CO₂) gemeten. Via de CO₂-balansmethode is het ventilatie-debiet bepaald. De CO₂-concentratie in de uitgaande stallucht is gemeten met behulp van een Testo CO₂-meter (Testo B.V.; Almere, Nederland; type 435, met IAQ-probe voor CO₂) of een Vaisala CO₂-sensor (Vaisala; Vantaa, Finland; CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP252; type met meetbereik 0-5000 ppm).

2.4.3 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

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

2.4.4 Productiegegevens

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

- aantal opgezette en aanwezige dieren;
- indien mogelijk: gemiddeld diergewicht (eventueel afgelezen waarde voor het betreffende productiestadium uit de productiegids van het merk dier);
- voerverbruik van de dieren;
- waterverbruik van de dieren;

- 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 CO₂-balansmethode gebruikt. Deze methode is gebaseerd op de rekenregels van de CIGR voor het bepalen van de CO₂-productie van de dieren (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). Hiervoor wordt eerst de warmteproductie van de vleeskuikens als volgt berekend:

$$\Phi_{tot} = 10.62 m^{0.75}$$

waarbij:

- Φ_{tot} = totale warmteproductie per dier in W;
- m = gewicht van het dier in kg

De CO₂-productie werd vervolgens berekend met behulp van de volgende formule:

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

waarbij:

- CO₂-productie = productie van CO₂ in m³/uur per dier;
- 0.185 = waarde voor CO₂-productie per kW in m³/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 m³/uur per dier
- CO₂-productie = productie van CO₂ in m³/uur per dier;
- [CO₂]_{stal} = CO₂ concentratie in parts per million (ppm) gemeten bij het emissiepunt van de stal;
- [CO₂]_{buiten} = vaste waarde voor de concentratie van CO₂ 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 absoluutfilter met de recirculatie op 50% en op basis van het filteren van de uitgaande lucht via de absoluutfilters.

Effect recirculatie

Per afzonderlijke meetdag werd de emissie van PM₁₀ 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 PM₁₀ in g/jaar per aanwezig dier;
- Q = ventilatiedebiet in m³/uur per dier;
- [PM₁₀]_{stal} = de concentratie van PM₁₀ in µg/m³, gemeten nabij het emissiepunt van de stal;
- [PM₁₀]_{buiten} = de concentratie van PM₁₀ in µg/m³, 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 productieperioden. Dit is wel nodig bij het berekenen van een absolute emissiefactor, maar niet in deze situatie voor het berekenen van een reductiepercentage.

Effect absoluutfilter

Het effect van het absoluutfilter op de fijnstofemissie is afhankelijk van de hoeveelheid lucht die door het filter gaat en het verwijderingsrendement van dit filter. Het verwijderingsrendement kan worden berekend met de volgende formule:

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

waarbij:

- R = verwijderingsrendement absoluutfilter;
- C_{stal} = de concentratie van PM₁₀ in µg/m³, gemeten nabij het emissiepunt van de stal;
- C_{na_filter} = de concentratie van PM₁₀ in µg/m³, gemeten na het absoluutfilter.

Het eindreductiepercentage van een stal met deze filters kan worden berekend met een model. In dit model wordt de emissie berekend met behulp van een gemiddeld ventilatiedebiet en PM₁₀ concentratie per dag in de productieronde. In dit model wordt het deel van de ventilatie door de filters en het deel dat via een andere weg de stal verlaat berekend. Op deze manier kan het eindreductiepercentage worden berekend van een stal met filters. Deze wijze van berekenen is eerder toegepast in bijlage B van rapport 621 (Ellen et al., 2013).

2.5.3 Berekening reductiepercentage op stalniveau fijnstofemissie met bandbreedte

Deze paragraaf heeft alleen betrekking op de situatie met recirculatie.

In de pilot was sprake van de volgende situatie:

- vleeskuikens met een exponentieel emissiepatroon;
- meetdagen die ongebalanceerd zijn gekozen over de groeironde. Dat wil zeggen: er zijn meer metingen aan het einde van de ronde uitgevoerd om de meest nauwkeurige schatting van emissies en reductie te verkrijgen bij de hoogste emissieniveaus;

Bij deze situatie is het invalide om de individuele reductiepercentages per meting (d.w.z. een set van een casedag en een controledag) zonder verdere bewerking te middelen tot een reductiepercentage op stalniveau. Dit omdat een individueel reductiepercentage nog niets zegt over de werkelijke hoeveelheid emissie welke wordt verminderd. Zo kan bijvoorbeeld een zeer hoog reductiepercentage van één individuele meting het reductiepercentage op stalniveau positief beïnvloeden, maar wanneer dit individuele reductiepercentage behaald werd bij een zeer lage emissie wordt daaraan een niet-representatief groot gewicht toegekend. De reductie van de techniek moet daarom worden bepaald over de emissies. Door eerst de emissies van casedagen en controledagen te middelen en vervolgens een reductiepercentage op stalniveau te berekenen over die twee gemiddelde emissiecijfers worden de individuele reductiepercentages gewogen naar rato van hun bijdrage aan de totale emissie.

Het is in dit geval echter eveneens invalide om emissies van casedagen en controledagen zonder verdere bewerking te middelen. Dit omdat metingen ongebalanceerd zijn uitgevoerd over de groeiperiode en er mogelijk effecten van tijd/dag in ronde bestaan op de reductie. Het zo verkregen reductiepercentage is dan niet representatief voor een groeiperiode als geheel.

In deze situatie is de volgende "getrapte" aanpak daarom valide:

1. de groeironde wordt verdeeld in drie gelijke opeenvolgende tijdvakken;
2. elke meting wordt toegewezen aan één van de drie tijdvakken waarin de meting plaatsvond;
3. per tijdvak wordt een tijdvakgemiddelde emissie berekend, zowel voor de emissie van de casedagen als voor de emissie van de controledagen;
4. de drie tijdvakgemiddelde emissies voor de casedagen en de drie tijdvakgemiddelde emissies voor de controledagen worden vervolgens gemiddeld tot overall gemiddelde emissies;

5. het reductiepercentage wordt vervolgens berekend als het procentuele verschil tussen de overall gemiddelde emissie van de casedagen en de overall gemiddelde emissie van de controledagen. Deze aanpak wordt reeds beschreven in het meest recente VERA protocol en in het Nederlandse ammoniak meetprotocol (Ogink et al., 2017), maar moet in het Nederlandse fijnstof protocol nog worden opgenomen.

Om enig inzicht te krijgen in de precisie waarmee het verkregen reductiepercentage op stalniveau is bepaald is voor dit cijfer een x%-betrouwbaarheidsinterval 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 α en SE de standaardfout (berekend als de standaardafwijking gedeeld door de wortel uit het aantal waarnemingen).

2.5.4 Statistische analyses

Deze paragraaf heeft alleen betrekking op de situatie met recirculatie.

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

- temperatuur in de stal;
- relatieve luchtvochtigheid (RV) in de stal;
- CO₂-concentratie in de stal;
- ventilatiedebiet;
- fijnstofconcentratie in de stal, en;
- fijnstofemissie.

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

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

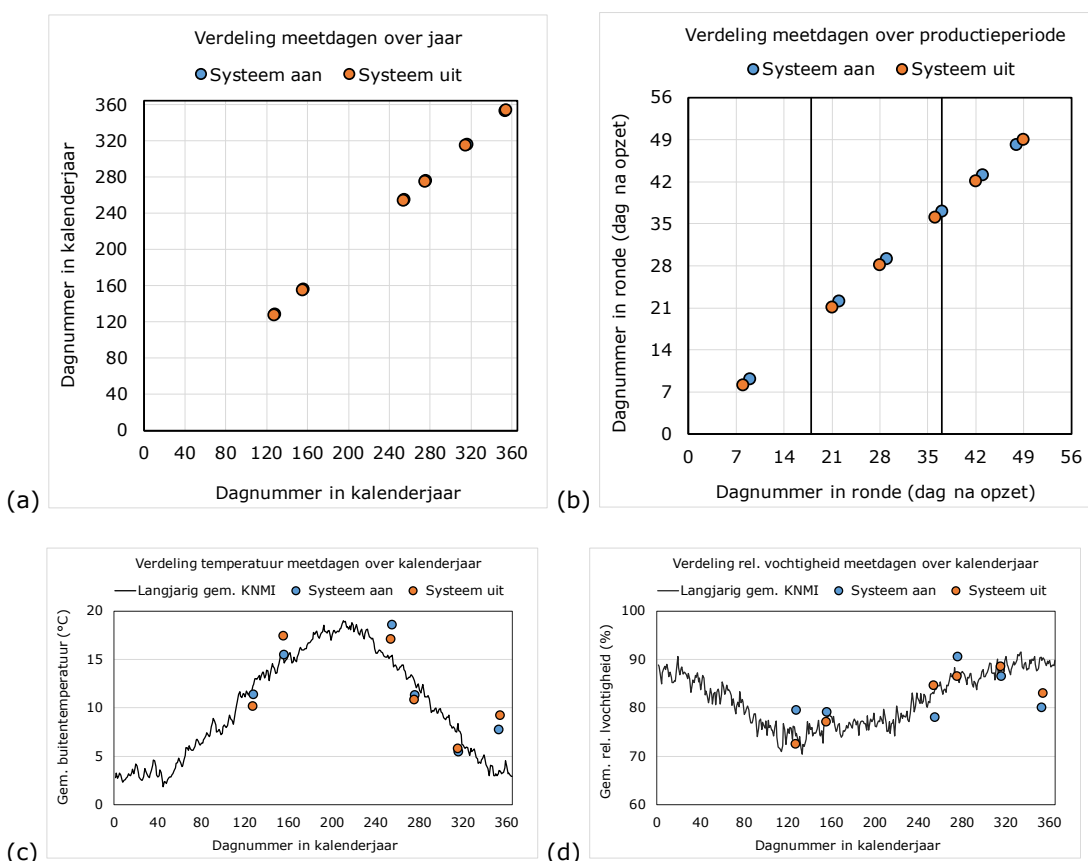
Relaties tussen het reductiepercentage en mogelijke invloedsfactoren (fijnstofconcentratie, ventilatiedebiet) op de effectiviteit van de techniek werden verkend met behulp van Enkelvoudige Lineaire Regressie. Hier is een effect van de invloedsfactor (x-variabele) op het reductiepercentage (Y-variabele) verkend door te toetsen of de richtingscoëfficiënt significant afwijkt van nul.

Voor de analyses werden de paartjes van waarnemingen als statistisch onafhankelijk beschouwd. Verschillen of relaties werden als statistisch significant beschouwd bij een P -waarde $<0,05$ en als trendmatig bij een P -waarde tussen $0,05$ en $0,10$. Alle analyses werden uitgevoerd met behulp van het statische programma GenStat (VSN, 2019).

3 Resultaten

3.1 Meetomstandigheden

Het Nederlandse meetprotocol voor fijnstof (Ogink et al., 2011) schrijft voor dat er per bedrijfslocatie zesmaal gemeten moet worden. De metingen moeten gelijkmatig verdeeld over een jaar zijn verricht. Figuur 3.1 laat zien hoe de metingen op de locatie in werkelijkheid verdeeld waren. Minimaal 80% van de metingen moet betrouwbare resultaten opleveren. De metingen zijn ongebalanceerd over de groeiperiode uitgevoerd. Hierbij wordt de totale lengte van de groeiperiode verdeeld in drie gelijke tijdvakken. In het eerste tijdvak werd één meting beoogd, in het tweede tijdvak twee metingen en in het derde tijdvak drie metingen. De groeiperiode op deze locatie heeft een lengte van 56 dagen (zie bijlage 1).



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

Er zijn in totaal zeven metingen uitgevoerd in de periode december 2018 tot en met november 2019. Hiervan gaven zes metingen (nummers 1, 3, 4, 5, 6 en 7) betrouwbare resultaten. Meting 2 is geëxcludeerd uit de dataset wegens het ontsmetten van de vloer met ongebluste kalk. Dit veroorzaakte een extra productie van fijnstof.

Het gemiddelde dagnummer van de dagen waarop is gemeten is 247 (streven: ca 183). De metingen zijn niet geheel gelijkmatig over het jaar verdeeld. Drie van de zes geslaagde metingen vallen in de herfst en er zijn geen metingen in de winter uitgevoerd. Reden voor deze verdeling is o.a. de looptijd van het project, niet kunnen inzetten van meettechnici door ziekte en dreiging van aviaire influenza (door de laatste reden waren bedrijfsbezoeken in sommige periodes niet mogelijk).

Door de groeiperiode van 56 dagen bij trager groeiende vleeskuikens, wordt de lengte van een tijdvak (zie paragraaf 2.5.3) bij deze dieren 19 dagen. Bij meting 4 is door omstandigheden de techniek gemeten in het tweede tijdvak van de groeiperiode (indeling in drie gelijke tijdvakken, zie paragraaf 2.5.3). In de discussie wordt ingegaan op het effect op het reductiepercentage als deze meting wordt gezien alsof er is gemeten in het derde tijdvak.

In tabel 1 zijn o.a. de data waarop de metingen zijn uitgevoerd met de relevante technische resultaten en klimaatomstandigheden (buiten en binnen in de stal) weergegeven. De technische resultaten van de dieren (wateropname, voeropname, water/voer-verhouding, groei, en uitval) vielen binnen de normen van het ras die gesteld zijn door de fokkerijgroepering. Aan de landbouwkundige voorwaarden is niet volledig voldaan (zie bijlage 2). De belangrijkste reden hiervoor is dat in deze stal trager groeiende dieren worden gehouden. Voor deze dieren geldt een langere groeiperiode (met een vergelijkbaar eindgewicht) ten opzichte van regulier gehouden vleeskuikens. Verder zijn er geen afwijkingen geweest van het standaard bedrijfsmanagement. Wel was de stofconcentratie bij de eerste meting relatief hoog, de pluimveehouder verwacht dat dit veroorzaakt werd door een ander ras tijdens deze meting. Ook is er in volgende rondes sprake geweest van nattere mest door aanwezigheid van coccidiose, dit zorgt juist voor een lagere stofconcentratie tijdens deze metingen.

Voor de klimaatgegevens voor de buitenlucht (temperatuur en RV) zijn de gegevens gebruikt van het meetstation in Gilze-Rijen. De gemiddelde buitentemperatuur bedroeg 11,6 °C voor de meetdagen met de techniek aan versus 11,7 °C voor de meetdagen met de techniek uit (langjarig gemiddelde KNMI: 10,2 °C). Voor de relatieve luchtvochtigheid was dit 82% voor beide meetdagen (langjarig gemiddelde KNMI: 82%). De gemiddelde buitentemperatuur tijdens de metingen lag daarmee wat hoger dan het langjarig gemiddelde. De gemeten temperaturen en relatieve luchtvochtigheden lagen nabij de trend van het langjarig gemiddelde, het ontbreken van een meting tijdens de winter zal tot een gemiddeld iets hogere buitentemperatuur hebben geleid.

De gemiddelde temperatuur in de stal bedroeg 23,7 °C voor de meetdagen met de techniek aan versus 24,3 °C voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil niet statistisch significant ($P=0,217$). De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in de stal bedroeg 67,7% voor de meetdagen met de techniek aan versus 67,4% voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil niet statistisch significant ($P=0,851$).

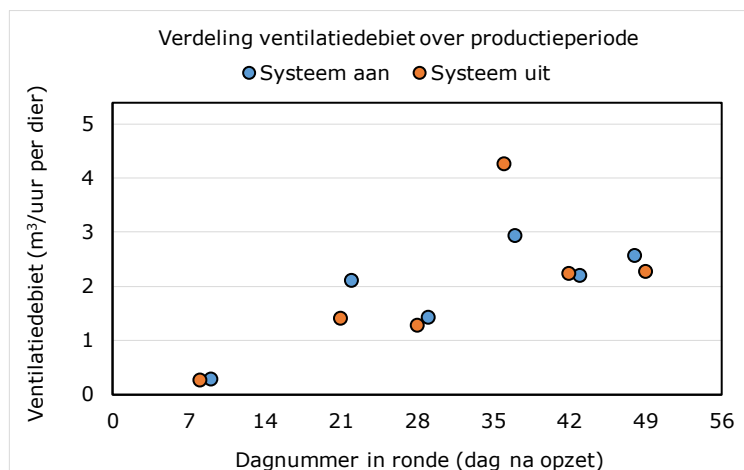
De waarden van de indicatieve NH₃-metingen zijn niet opgenomen in tabel 1. Ze varieerden binnen de normale waarden voor stallen met vleeskuikens en geven geen aanleiding om een relatie met de warmtewisselaar te analyseren.

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 1		METING 3		METING 4		METING 5		METING 6		METING 7	
	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
Algemeen												
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	12/19/2018	12/20/2018	5/9/2019	5/7/2019	6/5/2019	6/4/2019	9/12/2019	9/11/2019	10/3/2019	10/2/2019	11/12/2019	11/11/2019
Tijd start meting [hh:mm]	11:15	11:30	12:00	10:50	13:00	11:45	12:00	11:00	12:00	10:00	12:10	10:15
Datum einde meting [dd-mm-yyyy]	12/20/2018	12/21/2018	5/9/2019	5/8/2019	6/6/2019	6/5/2019	9/13/2019	9/12/2019	10/4/2019	10/3/2019	11/13/2019	11/12/2019
Tijd einde meting [hh:mm]	11:15	11:30	12:00	10:50	13:00	11:45	12:00	11:00	12:00	10:00	12:10	10:15
Dagnummer in jaar [n]	353	354	128	127	156	155	255	254	276	275	316	315
Productiekenngetallen												
Opzetdatum dieren [dd-mm-yyyy]	11/1/2018	11/1/2018	4/29/2019	4/29/2019	4/29/2019	4/29/2019	8/21/2019	8/21/2019	8/21/2019	8/21/2019	10/14/2019	10/14/2019
Ras	Hubbard JA757	Hubbard JA757	Ranger Classic	Ranger Classic	Ranger Classic	Ranger Classic	Ranger Classic	Ranger Classic	Ranger Classic	Ranger Classic	Ross 308	Ross 308
Dagnummer in productieronde	48	49	9	8	37	36	22	21	43	42	29	28
Tijdvak in ronde		3		1		2		2		3		2
Aantal dieren geplaatst	18640	18640	19170	19170	19170	19170	19170	19170	19170	19170	19170	19170
Aantal dieren aanwezig	17905	17895	18887	18903	18707	18709	18710	18711	18272	18265	18350	18340
Uitval cumulatief [%]	3,94	4,00	1,48	1,39	2,42	2,40	2,40	2,39	4,68	4,72	4,28	4,33
Diergewicht [q]	2034	2087	206	180	1670	1604	742	690	2066	2001	1690	1650
Voeropname [q/dier per dag]	144	151	24	37	119	118	96	96	155	154	168	151
Wateropname [ml/dier per dag]	250	234	64	70	225	221	159	168	282	296	265	268
Water/voer-verhouding	1,74	1,55	2,67	1,89	1,89	1,87	1,66	1,75	1,82	1,92	1,58	1,77
Buitenluchtcondities												
Gem. temperatuur (KNMI) [°C]	7,7	9,2	11,4	10,1	15,5	17,4	18,5	17,1	11,3	10,8	5,5	5,8
Gem. relatieve luchtvochtigheid (KNMI) [%]	80	83	80	73	79	77	78	85	91	87	87	89
Windrichting (KNMI)	Z,ZZW	ZZW,ZW	ZZO,ZZW	Z,ZZO	W,WZW	OZQ,W	WZW,NNW	ZZW,WZW	ZW,ZW	WNW,ZW	ZZW,Z	Z,ZZW
Achtergrond PM10 (LML) [µg/m ³]	10,7	12,5	11,8	16,7	12,4	16,0	14,8	15,2	10,6	9,1	9,0	9,2
Achtergrond PM2,5 (LML) [µg/m ³]	5,9	5,6	6,6	11,3	6,8	7,8	6,4	9,1	4,5	2,5	15,6	8,2
Stallicht en ventilatie												
Gem. luchttemperatuur [°C]	19,7	20,5	27,6	27,9	23,2	25,5	25,5	25,1	23,1	22,8	23,3	24,0
Gem. relatieve luchtvochtigheid [%]	71	72	68	61	68	66	64	70	71	68	65	67
Gem. CO ₂ -concentratie [ppm]	1740	1910	2638	2545	1390	1059	1151	1463	1946	1887	2467	2672
Ventilatie-debiet [m ³ /h per dier]	2,5	2,3	0,3	0,3	2,9	4,2	2,1	1,4	2,2	2,2	1,4	1,3
Fijnstofconcentraties en -emissies												
Gem. concentratie PM10 [µg/m ³]	3462	4950	1119	1909	1002	966	784	1091	1424	2059	719	1533
Concentratiereductie PM10 abs. [µg/m ³]		1488		790		-36		307		635		815
Concentratiereductie PM10 rel. [%]		30		41		-4		28		31		53
Gem. emissie PM10 [q/dier per jaar]	75,5	97,7	2,6	4,2	25,3	35,4	14,1	13,2	27,1	39,9	8,8	16,8
Emissiereductie PM10 abs. [q/dier per jaar]		22,2		1,6		10,1		-0,9		12,8		8,1
Emissiereductie PM10 rel. [%]		23		38		29		-7		32		48

3.2 CO₂-concentratie en ventilatie-debiet

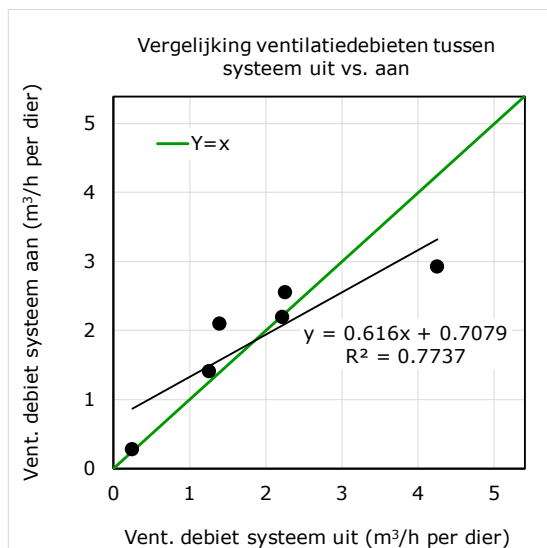
Tabel 1 toont de gemeten CO₂-concentraties. De gemiddelde CO₂-concentratie in de stal bedroeg 1889 ppm voor de meetdagen met de techniek aan versus 1923 ppm voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil niet statistisch significant ($P=0,741$). Op basis van o.a. de in tabel 1 weergegeven CO₂-concentraties in de stal zijn de ventilatie-debieten berekend. In figuur 3.2 zijn deze weergegeven ten opzichte van het dagnummer in de productieperiode. Het ventilatie-debiet vertoont een normaal verloop over de groeiperiode: laag in het begin en daarna toenemend. Dagen met debieten boven in de range (boven 4 m³/uur per dier) zijn echter nauwelijks aanwezig in de dataset. Een vergelijking met het verloop van het ventilatie-debiet met andere meetrapporten is moeilijk te maken vanwege het feit dat het hier gaat om dieren met een langere groeiperiode. Er zijn geen meetrapporten beschikbaar met metingen bij dezelfde dieren.



Figuur 3.2 Verdeling van het ventilatie-debiet over de productieperiode.

Het gemiddelde ventilatiedebiet (\pm standaardafwijking) bedroeg 1,9 (\pm 0,9) m³/uur per dier voor meetdagen met de techniek aan versus 1,9 (\pm 1,4) m³/uur per dier voor meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek het kleine verschil in ventilatiedebiet niet statistisch significant ($P=0,900$).

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

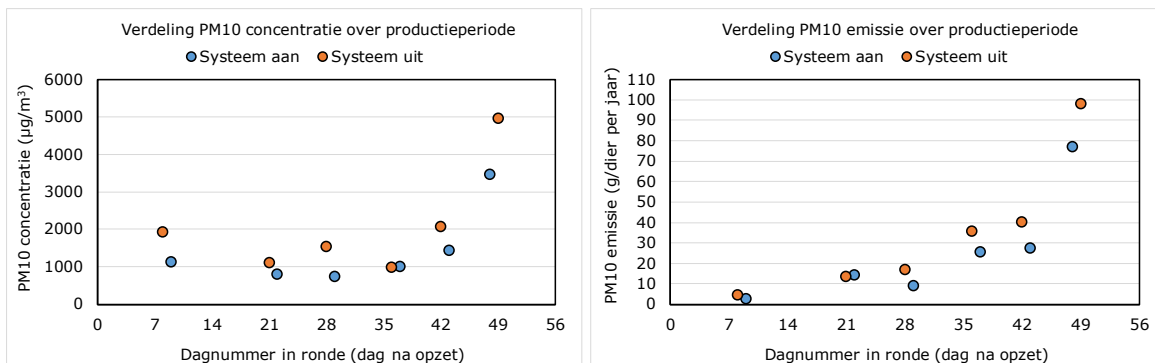


Figuur 3.3 Vergelijking van het ventilatiedebiet tussen meetdagen met de techniek aan versus meetdagen met de techniek uit.

Uit de analyse blijkt dat de richtingscoëfficiënt van de regressielijn trendmatig afwijkt van de waarde 1 (de groene $Y=x$ lijn; $P=0,083$), het snijpunt van de regressielijn is niet significant afwijkend van nul (d.w.z. door de oorsprong; $P=0,138$). De trendmatige afwijking van de richtingscoëfficiënt van de regressielijn is grotendeels te verklaren door één afwijkende meting, deze waarneming heeft een hoge "leverage" volgens Genstat. Dit is waarschijnlijk een toevalsvinding geweest, de andere metingen laten slechts kleine verschillen zien tussen de ventilatiedebieten tijdens meetdagen met de techniek aan versus meetdagen met de techniek uit. Daarom kan uit worden gegaan van een zuivere vergelijkingsbasis in de meetstrategie v.w.b. het ventilatiedebiet.

3.3 Concentratie, emissie en reductie PM₁₀ door recirculatie

In deze paragraaf wordt ingegaan op de het effect van de recirculatie door het absoluutfilter op de concentratie in de stallucht en de op basis daarvan te berekenen emissie. Voor het corrigeren van de emissie uit de stal met de achtergrondconcentratie, zijn de waarden gebruikt van het meetstation in Biest-Houtakker van het RIVM. Bij alle metingen heeft de recirculatie op 50% gestaan. De concentraties en emissies van PM₁₀ op meetdagen met de techniek aan en meetdagen met de techniek uit worden weergegeven in figuur 3.4. Uit de figuur blijkt dat de concentraties en emissies toenamen in de ronde zoals dat bij vleeskuikens gebruikelijk is (Winkel et al., 2015b). In de figuur is te zien dat de concentraties en emissies op de dagen met de techniek aan in bijna alle gevallen lager was dan op de dagen met de techniek uit.



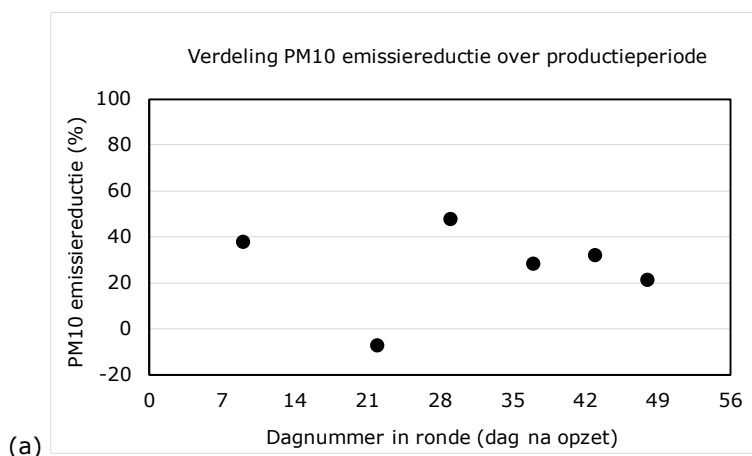
Figuur 3.4 PM_{10} concentraties (links) en PM_{10} emissies (rechts) op de meetdagen met de techniek aan en meetdagen met de techniek uit.

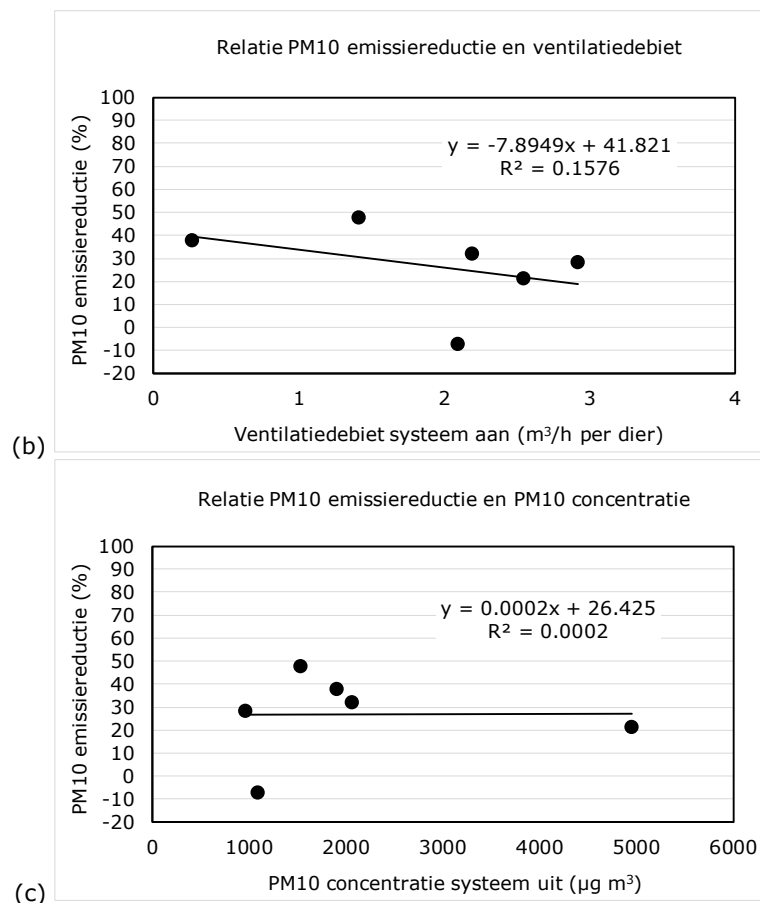
De gemiddelde (\pm standaardafwijking) PM_{10} concentratie in de stal bedroeg $1418 (\pm 1032) \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de meetdagen met de techniek aan versus $2085 (\pm 1468) \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek dit verschil statistisch significant ($P=0,013$).

De gemiddelde PM_{10} emissie uit de stal (berekend zoals beschreven in paragrafen 2.5.2 en 2.5.3) bedroeg $25,6 \text{ g}/\text{dier}$ per jaar voor de meetdagen met de techniek aan versus $34,5 \text{ g}/\text{dier}$ per jaar voor de meetdagen met de techniek uit. Uit de statistische analyse bleek het verschil in emissies statistisch significant ($P=0,021$). Op basis van deze waarden bedraagt het reductiepercentage op stalniveau van de techniek 22%.

In figuur 3.5 worden de reductiepercentages weergegeven als functie van dagnummer in ronde, het ventilatiedebiet en de PM_{10} 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 dat geen van de verkende invloedsfactoren invloed lijkt te hebben op de emissiereductie over de productieperiode. Van de invloedsfactoren zijn zowel het ventilatiedebiet ($P=0,436$) als de PM_{10} concentratie ($P=0,979$) dan ook niet statistisch significant van invloed.





Figuur 3.5 Het reductiepercentage voor PM₁₀ als functie van (a) dagnummer in ronde, (b) het ventilatiedebiet en (c) de PM₁₀ concentratie in de stal.

3.4 Concentratie, emissie en reductie PM₁₀ absoluutfilter

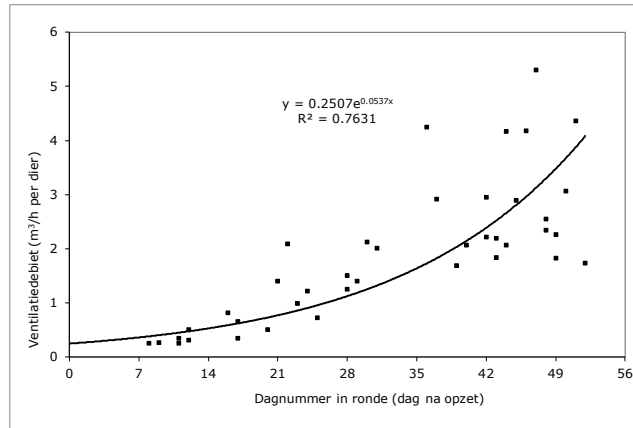
Naast het meten van de PM₁₀ concentratie in de stal zijn ook vier 24-uursmetingen uitgevoerd achter het grof- en fijnstoffilter in de warmtewisselaar, de resultaten hiervan worden weergegeven in tabel 2. In tabel 2 staan alleen de waarden van de metingen achter het absoluutfilter. In beide tabellen zijn de algemene gegevens, productiegetallen en buitenluchtcondities niet vermeld. Deze zijn gelijk aan die in tabel 1 voor alle meetdagen. Het fijnstoffilter geeft een gemiddelde reductie van 99%.

Tabel 2 Resultaten reductie fijnstoffilter warmtewisselaar.

Variabele [eenheid]	METING 1		METING 2		METING 3		METING 4	
	STAL	NA WW	STAL	NA WW	STAL	NA WW	STAL	NA WW
Algemeen								
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	12/19/2018		12/20/2018		3/12/2019		3/13/2019	
Tijd start meting [hh:mm]	11:15		11:30		12:00		13:00	
Datum einde meting [dd-mm-yyyy]	12/20/2018		12/21/2018		3/13/2019		3/14/2019	
Tijd einde meting [hh:mm]	11:15		11:30		12:00		13:00	
Stallucht en ventilatie								
Gem. luchttemperatuur [°C]	19.7		20.5		26.9		26.2	
Gem. relatieve luchtvochtigheid [%]	71		72		62		59	
Gem. CO ₂ -concentratie [ppm]	1740		1910		2698		2114	
Ventilatiedebiet [m ³ /h per dier]	2.55		2.26		0.35		0.51	
Fijnstofconcentraties en -emissies								
Gem. concentratie PM10 [μg/m ³]	3462	41	4950	94	8406	27	5418	40
Concentratiereductie PM10 abs. [μg/m ³]	3421		4856		8379		5378	
Concentratiereductie PM10 rel. [%]	99		98		100		99	
Gem. emissie PM10 [g/dier per jaar]	77.0	0.7	97.7	1.6	25.5	0.0	24.1	0.1
Emissiereductie PM10 abs. [g/dier per jaar]	76.3		96.1		25.5		24.0	
Emissiereductie PM10 rel. [%] filter	99		98		100		99	

De lucht die door de warmtewisselaar de stal verlaat is slechts een deel van de totale ventilatiecapaciteit. Naast de ventilatie via de warmtewisselaar zijn ook andere ventilatoren aanwezig waarmee wordt gezorgd voor voldoende ventilatiecapaciteit. Met behulp van een model wordt het eindreductiepercentage berekend. Hierbij wordt hetzelfde principe toegepast als uitgewerkt in bijlage B van Ellen et al. (2013).

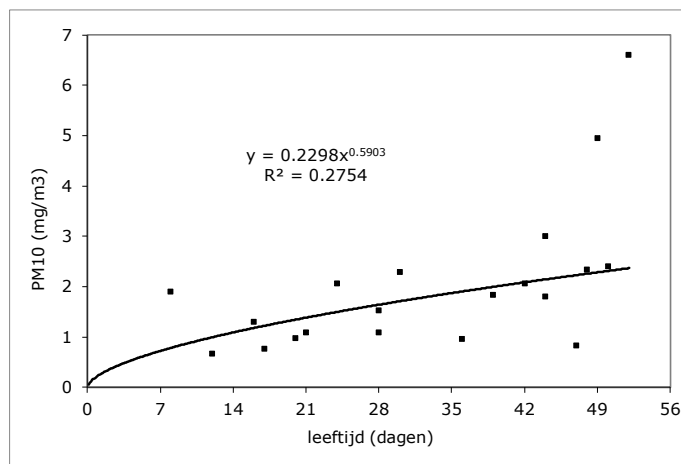
Het verloop van het ventilatiedebiet van trager groeiende vleeskuikens is berekend met behulp van gegevens van het ventilatiedebiet van drie vleeskuikenstallen die binnen dit project zijn bemeaten. Dit waren stallen met een capaciteit van 11.000 tot 27.500 vleeskuikens. Het ventilatiedebiet met de daarbij behorende dagnummer in productieronde zijn weergegeven in figuur 3.6. De trendlijn van het ventilatiedebiet is gebruikt in de reductie berekeningen voor de PM₁₀ emissie.



Figuur 3.6 Het ventilatiedebiet als functie van dagnummer in ronde.

Ook voor het verloop van de PM₁₀ concentratie is gebruik gemaakt van de gegevens die binnen dit project zijn gemeten. De PM₁₀ concentratie stijgt gedurende de productieronde, dit is weergegeven in figuur 3.7. De trendlijn van de PM₁₀ concentratie is samen met de trendlijn van het ventilatiedebiet gebruikt om de emissiereductie te berekenen.

Figuur 3.7 De PM₁₀ concentratie als functie van dagnummer in ronde.



Met behulp van het ventilatiedebiet, de PM₁₀ concentratie in de stal en het verwijderingsrendement kan voor een bepaalde capaciteit van de warmtewisselaar de emissiereductie worden berekend in een model. In tabel 3 staan hiervan enkele voorbeelden genoemd. Bij een geïnstalleerde maximale ventilatiecapaciteit van 1 m³/h per dier door de warmtewisselaar wordt een emissiereductie van 40% behaald.

Tabel 3 Resultaten emissiereductie warmtewisselaar bij verschillende ventilatiecapaciteiten.

Variabele [eenheid]	Situatie 1	Situatie 2	Situatie 3
Ventilatiedebit warmtewisselaar [m ³ /h per dier]	1	1.5	2
Ventilatiedebit door warmtewisselaar rel. [%]	48%	63%	74%
Concentratiereductie PM ₁₀	99%	99%	99%
Emissiereductie PM₁₀	40%	55%	67%

Voor reguliere vleeskuikens kunnen de volgende BWL-beschrijvingen gebruikt worden voor de emissiereductie van PM₁₀ van de volgende categorieën in bijlage 1 van de Rav: E 7.6, E 7.7, E 7.11 en E 7.12. Bij E 7.12 zou dit neerkomen op een reductie van 50% bij een geïnstalleerde capaciteit van 1,45 m³/h per dier. Dit komt vrijwel overeen met de berekende reductie van 55% in situatie 2 van tabel 3.

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 2 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 (PM₁₀) zijn vastgesteld met DustTraks (een lichtverstrooiingsmethode) in plaats van met een gravimetrische meetmethode;
- d. het ventilatiedebiet is vastgesteld aan de hand van de CO₂-balansmethode op grond van metingen van CO₂ in de stal (conform het meetprotocol), maar met een vaste (niet gemeten) achtergrondwaarde voor CO₂ in de buitenlucht;
- e. de achtergrondconcentraties van fijnstof (PM₁₀) 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. Afsproken 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 22%.

Tabel 4 *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%	1,9%	97,5%
90%	6,1%	95%
80%	10,2%	90%
70%	12,7%	85%
60%	14,5%	80%
50%	16,0%	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. Enig inzicht in de tussenbedrijfsvariatie van ionisatietechnieken kan verkregen worden uit de meetrapporten van een negatief ionisatiesysteem van de firma Inter Continental (Ysselsteyn, Nederland) beproefd op twee vleeskuikenbedrijven en een positief ionisatiesysteem van de firma ENS Clean Air (Cuijk, Nederland) beproefd in twee leghennenstallen (beide meetrapporten zijn gepubliceerd als wetenschappelijk artikel met hierin individuele reductiepercentages per locatie door Winkel et al., (2016). T.a.v. de eerste ionisatietechniek bedroeg het gemiddelde PM₁₀ reductiepercentage 47% met reductiepercentages per bedrijfslocatie van gemiddeld 46% voor bedrijf 1 en 49% voor bedrijf 2. T.a.v. de tweede ionisatietechniek bedroeg het gemiddelde PM₁₀ reductiepercentage 6% met reductiepercentages per meetlocatie van gemiddeld 12% voor bedrijf 1 en 4% voor bedrijf 2. Deze twee ionisatietechnieken laten dus een vergelijkbaar beeld (kleine tussenbedrijfsvariatie) zien in beide locaties. Voor voornoemde twee technieken geldt dat op de kleinst mogelijke schaal (2 bedrijfslocaties) is laten zien dat het reductiepercentage reproduceerbaar is. Dit kan voor de techniek in dit rapport vergelijkbaar gelden, maar wellicht ook niet. Daarover wordt pas meer inzicht/betrouwbaarheid verkregen door een meetserie bij een tweede bedrijfslocatie uit te voeren.

De keuze in de fijnstofpilots om metingen uit te voeren op één bedrijfslocatie brengt verder met zich mee dat het reductiepercentage van 22% gebaseerd is op één meetserie van zes in plaats van 12 waarnemingen. De gevonden reductie is statistisch significant afwijkend van nul. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval (de bovengrens en ondergrens waartussen voornoemde eindreductiepercentage met 95% zekerheid ligt) bedraagt de gevonden reductie ± 11 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 ± 8 procentpunten. Voor het vaststellen van een onzekerheidsmarge kan ook gebruik worden gemaakt van andere meetseries uit het verleden. In Winkel (2020) is dit gedaan voor de reductiepercentages voor PM₁₀ 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. De techniek zou met een reductiepercentage van 12% opgenomen kunnen worden in de landelijke regelgeving.

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

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

c. Meetmethode PM₁₀ indirect equivalent aan EN 12341:2014

De toegepaste meetmethode voor PM₁₀ (DustTraks, modellen 8520 en 8530) kent twee soorten fouten: de methode onderschat de werkelijke PM₁₀ 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 PM₁₀ 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. Wanneer beide DustTraks goed hebben gemeten is het gemiddelde van beide concentraties genomen. Als bij een meting één DustTrak niet goed gemeten heeft, wordt deze data niet gebruikt. Als beide apparaten niet goed gemeten hebben is de gehele meting niet gebruikt. 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 PM₁₀ emissiefactoren die dus op absolute schaal accuraat dienen te zijn, verdient een gravimetrische methode de voorkeur. Deze methode is direct equivalent aan EN 12341:2014 en kent een kleinere toevalsfout tussen apparaten.

d. Gevoeligheidsanalyse voor geen plaatselijke meting van CO₂-achtergrondconcentraties

Er is bij deze metingen voor gekozen om geen concentraties van CO₂ en PM₁₀ in de directe nabijheid van de stal te meten. In plaats daarvan is voor CO₂ gekozen voor een vaste waarde van 400 ppm en voor PM₁₀ van de gemiddelde concentratie tijdens de meetdag van het dichtstbijzijnde meetstation van het RIVM: in een "schone, verre achtergrond" voor beide componenten, waarbij de CO₂-waarde een gekozen vaste waarde is die in werkelijkheid tot enkele tientallen ppm's hoger of lager zou kunnen zijn geweest. Om het effect van een lagere of hogere CO₂-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 CO₂-balansmethode en vervolgens in de emissieberekeningen en het reductiepercentage). De aldus verkregen reductiepercentages bedroegen 22,2% bij 300 ppm, 21,5% bij 400 ppm en 20,8% bij 500 ppm. Uit deze gevoeligheidsanalyse blijkt dat het reductiepercentage nauwelijks wordt beïnvloed door de gekozen vaste achtergrondwaarde voor CO₂. 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 CO₂-achtergrond te worden bepaald.

e. Gevoeligheidsanalyse voor geen plaatselijke meting van PM₁₀-achtergrondconcentraties

Er is bij deze metingen voor gekozen om geen concentraties van PM₁₀ in de directe nabijheid van de stal te meten. In plaats daarvan is voor PM₁₀ de gemiddelde concentratie tijdens de meetdagen van het dichtstbijzijnde meetstation van het RIVM gebruikt. Om het effect van een lagere of hogere PM₁₀-achtergrond inzichtelijk te maken is het reductiepercentage nogmaals doorgerekend op basis van een verlaging of verhoging van de PM₁₀-achtergrondconcentratie met 20 µg/m³ (deze achtergrondconcentraties werken door in de emissieberekeningen en het reductiepercentage). Ten opzichte van het gemiddelde van 21,5% neemt het reductiepercentage met 0,4% toe en 0,3% af als de buitenconcentratie 20 µg/m³ respectievelijk hoger of lager is. Uit deze gevoeligheidsanalyse blijkt dat het reductiepercentage nauwelijks wordt beïnvloed door de PM₁₀-achtergrondconcentratie. Dit komt doordat a) het concentratieverschil tussen binnen en buiten groot is, b) de kleine "fout" bij het berekenen van de emissie op zowel case- als controledagen wordt gemaakt, en c) de windrichting op beide meetdagen per aan-uit meting vergelijkbaar is geweest (zie tabel 1). Bij lagere concentratieverschillen tussen binnen en buiten, en bij het bemeten van een absolute emissiefactor, dient overigens altijd een PM₁₀-achtergrond te worden bepaald.

Hierna wordt nog ingegaan op een aantal algemene discussiepunten.

Verdeling metingen over jaar en productieperiode

Uit paragraaf 3.1 blijkt dat de metingen niet helemaal evenwichtig verdeeld zijn over alle fasen van het kalenderjaar. Dit is enerzijds inherent aan een meetserie van zes geslaagde metingen. Anderzijds had de pilot te maken met incidenten in de sector, leegstand van 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 ionisatietechnieken waarschijnlijk niet wordt beïnvloed door seizoensinvloeden, is de onzekerheid die deze omissie veroorzaakt waarschijnlijk klein. Zoals aangegeven in paragraaf 3.1 is meting 4 meegenomen als een meting in het tweede tijdvak van de totale productieperiode. Als meting 4 wordt gezien als een meting in het derde tijdvak, komt het totale gemiddelde reductie percentage op 17%.

Landbouwkundige voorwaarden

De metingen voldoen grotendeels aan de landbouwkundige voorwaarden beschreven in bijlage 2. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze voorwaarden van toepassing zijn op reguliere vleeskuikens, terwijl de metingen zijn uitgevoerd in een stal met zogenaamde tragere groeiers. Deze dieren worden op een vergelijkbaar eindgewicht afgeleverd, maar kennen een langere groeiperiode. Met deze langere groeiperiode is rekening gehouden bij de verdeling van de metingen over deze periode (zie paragraaf 2.5.3). De verwachting is dat dit verschil in type dier wel een effect zal hebben op hoogte van de emissie per dier over de hele ronde. Maar in dit onderzoek is gekeken naar het effect van een reducerende techniek en door de gekozen meetstrategie (case-control in de tijd in dezelfde stal), wordt geen invloed verwacht op het reductiepercentage. Tijdens verschillende rondes is de uitval hoger geweest dan de landbouwkundige voorwaarden voorschrijven, dit had onder meer te maken met extra uitval door coccidiose-problemen. Door de in dit onderzoek gekozen meetstrategie (case-control in de tijd in dezelfde stal), wordt geen invloed verwacht op het reductiepercentage. De aantallen dieren tussen de meetdagen waren vergelijkbaar. Bij alle metingen lag de water/voerverhouding beneden of boven de landbouwkundige voorwaarden. Voor een deel wordt dit veroorzaakt door het andere type vleeskuiken. Deze lagere of hogere water/voerverhouding kan ander strooisel tot gevolg hebben en daardoor een andere stofconcentratie in de stallucht. Omdat is gemeten in een case-control in de tijd situatie, en de water/voerverhouding

tussen beide meetdagen vergelijkbaar was, zal dit geen effect hebben gehad op het gemeten reductiepercentage. Dit laatste geldt ook voor dat er geen monsters van het strooisel zijn genomen t.b.v. het bepalen van het drogestofgehalte. Het drogestofgehalte zal wel een invloed hebben op het absolute niveau van de stofconcentratie in de stallucht, maar vanwege de meetstrategie niet op het reductiepercentage.

Stabilisatietijd

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

Andere meetrapporten

Er zijn bij deze techniek geen andere metingen uitgevoerd 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_{2.5}

In dit onderzoek zijn geen metingen verricht naar de reductie van PM_{2.5}.

Berekening eindreductiepercentage recirculatie

Tijdens deze metingen is de recirculatie standaard op 50% gezet, dit geeft een reductie op stalniveau van 22%. Het systeem wordt standaard geïnstalleerd met een variabele recirculatie, afhankelijk van staltemperatuur en CO₂-concentratie. Dit geeft bij kuikens op jongere leeftijd een hogere stofreductie op stalniveau dan bij kuikens op hogere leeftijd vanwege het toenemende ventilatiedebiet. Het eindeffect is onduidelijk vanwege een toenemend ventilatiedebiet en stofconcentratie.

Berekening eindreductiepercentage absoluutfilter

Het eindreductiepercentage is berekend met een model (zie tabel 4), dit model is gebaseerd op de PM₁₀ concentraties en ventilatiedebieten van drie stallen met trager groeiende vleeskuikens. Binnen deze stallen zit variatie in PM₁₀ concentratie en ventilatie, dit kan voor een onder- of overschatting hebben gezorgd van de PM₁₀ emissie. Ook is in het model gebruik gemaakt van gemiddelde waarden, dit houdt geen rekening met seizoensinvloeden. Op warme dagen wordt gemiddeld meer geventileerd en wordt daardoor minder lucht gefilterd. Op koudere dagen zal dit effect in mindere mate andersom plaats vinden. Dit kan voor een onderschatting van de berekende emissie zorgen en daarmee een overschat eindreductiepercentage.

Vertaling naar andere pluimveecategorieën

Het systeem van warmtewisselaar met stoffilter als stof reducerende techniek is als basis al opgenomen in de lijst met emissiefactoren onder de categorieën E 7.6, E 7.7, E 7.11 en E 7.12, F 6.5 t/m F 6.8 en G 4.4 t/m G 4.7. De keuze om te gaan recirculeren is dan aan de pluimveehouder. Daardoor is het toepasbaar bij alle andere pluimveecategorieën.

5 Conclusie en advies

De warmtewisselaar van de firma Granovi is in staat de emissie van PM₁₀ in vleeskuikenstallen te reduceren. Op grond van zes metingen aan één vleeskuikenstal, waarbij de relevante meetprotocollen zoveel mogelijk zijn gevolgd, bedraagt de reductie van stof op stalniveau gemiddeld 22%. Deze reductie is statistisch significant verschillend van nul. Rekening houdend met een onzekerheidsmarge van 10 procentpunten vanwege het meten op slechts één bedrijfslocatie, is het advies om een reductiepercentage op te nemen van 12%.

De fijnstofemissie van de stal kan met 40% verlaagd worden bij een capaciteit van de warmtewisselaar van 1 m³/h per dier voor trager groeiende vleeskuikens. Voor reguliere kuikens kan dit worden vergeleken met het systeem van E 7.12 (BWL 20017.03(.V3), dat 37% reduceert bij een capaciteit van 1,3 m³/h per dier.

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.
- Ellen, H. H., Losada, J. M., Hol, J. M. G., Nijeboer, G. M., Ploegaert, J. P. M., Ogink, N. W. M. 2013. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een warmtewisselaar op vleeskuikenbedrijven. Rapport 621. Wageningen: Wageningen Livestock Research.
- Gezondheidsraad. 2018. Gezondheidswinst door schonere lucht. Den Haag: Gezondheidsraad.
- Granovi. 2019. Stalconcept warmtewisselaars in combinatie met filterunit in praktijk. Online beschikbaar op: <https://www.granovi.com/granovi-air-solutions/>
- Hagenaars, T., Hoeksma, P., de Roda-Husman, A.M., Swart, A., Wouters, I. 2017. Veehouderij en Gezondheid Omwonenden (aanvullende studies). Analyse van gezondheidseffecten, risicofactoren en uitstoot van bioaerosolen. Rapport 2017-0062. Bilthoven: RIVM.
- Heederik D.J.J. & IJzermans, C.J.. 2011. Mogelijke effecten van intensieve-veehouderij op de gezondheid van omwonenden: onderzoek naar potentiële blootstelling en gezondheidsproblemen. Utrecht: IRAS-UU. Utrecht: NIVEL. Bilthoven: RIVM.
- Heederik, D., Erbrink, H., Farokhi, A., Hagenaars, T., Hoek, G., Ogink, N., de Rooij, M., Smit, L., Winkel, A., Wouters, I. Risicomodellering veehouderij en gezondheid (RVG): modellering van regionale endotoxineconcentraties en relaties met gezondheidseffecten. Rapport IRAS UU 2019-01 / WBVR-1910304. Utrecht: Institute for Risk Assessment Sciences. Lelystad: Wageningen Bioveterinary Research.
- Hendriks, C., Kranenburg, R., Kuenen, J., van Gijlswijk, R., Wichink Kruit, R., Segers, A., Denier van der Gon, H., Schaap, M. 2013. The origin of ambient particulate matter concentrations in the Netherlands. *Atmos. Environ.* 69:289-303.
- IJzermans, C.J., Smit, L.A.M., Heederik, D.J.J., Hagenaars, T.J. 2018. Veehouderij en gezondheid omwonenden III: longontsteking in de nabijheid van geiten- en pluimveehouderijen; actualisering van gegevens uit huisartspraktijken 2014-2016. Utrecht: NIVEL.
- Maassen, K., Smit, L., Wouters, I., van Duijkeren, E., Janse, I., Hagenaars, T., IJzermans, J., van der Hoek, W., Heederik, D. 2016. Rapport 2016-0058. Bilthoven, Nederland: RIVM.
- Ogink, N. W. M., P. Hofschreuder, A. J. A. Aarnink. 2011. Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 492. Lelystad: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ogink, N.W.M., Mosquera, J., Hol, J.M.G., 2017. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a. Wageningen Livestock Research, Rapport 1032.
- 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>.

-
- 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., Emous, R.A. van, Kwikkel, R.K., Ogink, N.W.M., Aarnink, A.J.A. 2009. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: ionisatie bij leghennen in volièrehuisvesting. Rapport 462. Lelystad: Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Winkel, A., J. Mosquera, J.W.H. Huis in't Veld, N.W.M. Ogink en A.J.A. Aarnink. 2011. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een ionisatiesysteem op vleeskuikenbedrijven. Rapport 203. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Winkel, A., Nijeboer, G.M., Huis in 't Veld, J.W.H., Ogink, N.W.M. 2013. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: validatie van een ionisatiesysteem op leghennenbedrijven. Rapport 685. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research.
- Winkel, A., Wouters, I.M., Aarnink, A.J.A., Heederik, D.J.J., Ogink, N.W.M. 2014. Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: een literatuurstudie voor ontwikkeling van een toetsingskader. Rapport 773. Wageningen: Wageningen Livestock Research.
- Winkel, A., Llorens Rubio, J., Huis in 't Veld, J.W.H., Vonk, J.A., Ogink, N.W.M. 2015a. Equivalence testing of filter-based, beta-attenuation, TEOM, and light-scattering devices for measurement of PM₁₀ concentration in animal houses. *J. Aeros. Sci.* 80:11-26.
- Winkel, A., Mosquera Losada, J., Groot Koerkamp, P.W.G., Ogink, N.W.M., Aarnink, A.J.A. 2015b. Emissions of particulate matter from animal houses in the Netherlands. *Atmos. Environ.* 111:202-212.
- Winkel, A. 2016. Particulate matter emission from livestock houses: measurement methods, emission levels and abatement systems. PhD Thesis. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University & Research.
- Winkel, A., Mosquera Losada, J., Aarnink, A.J.A., Groot Koerkamp, P.W.G., Ogink, N.W.M. 2016. Evaluation of oil spraying systems and air ionisation systems for abatement of particulate matter emission in commercial poultry houses. *Biosyst. Eng.* 150:104-122.
- Winkel, A. 2020. Berekening van een onzekerheidsmarge voor fijnstof reducerende technieken bemeten bij één in plaats van twee bedrijfslocaties. Wageningen Livestock Research, Report 1239.

Bijlage 1 Beschrijving stal

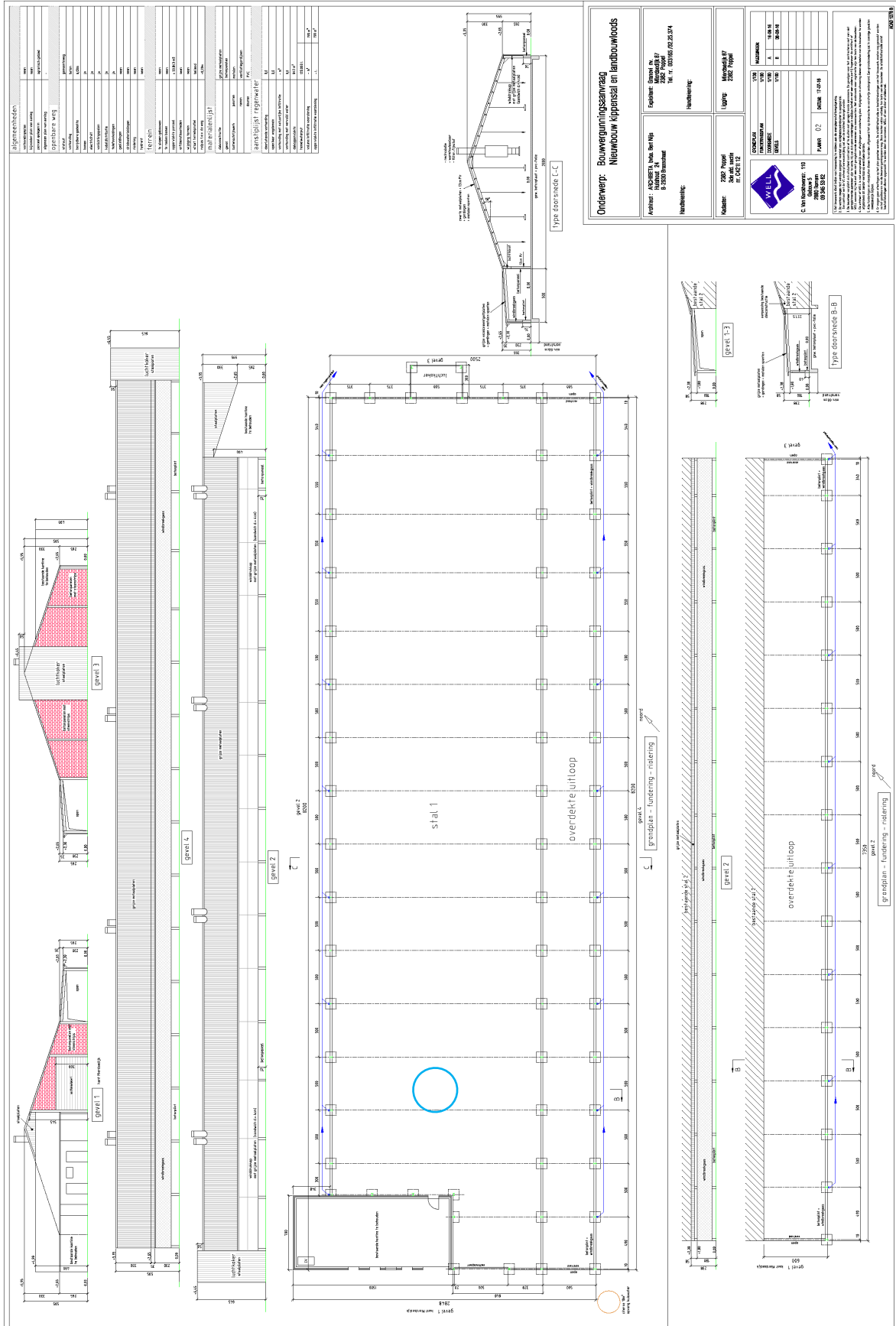
Kenmerk	Beschrijving
<i>Stal</i>	
Bouwjaar	2018
Rav code en omschrijving	E 5.10 vleeskuikenstal met verwarmingssysteem met warmteheaters en ventilatoren (BWL 2009.14.V3) 11
Emissiefactoren	Emissie PM10: 22 g/dierplaats per jaar Emissie ammoniak: 0,021 kg/dierplaats per jaar Emissie geur: 0,24 OUE/dierplaats per seconde
Afmetingen (l × b × h _{goot} /h _{nok})	80 x 19 x 3,2 x 6,0 m
Oriëntatie van de stal	ZW (voorgevel) – NO (achtergevel met ventilatoren)
<i>Dieren</i>	
Aantal kuikens bij opzet	Ca. 19.000
Bezettingsgraad bij opzet	Ca. 12,5 kuikens per m ² strooiselvloeroppervlak
Merk kuiken	Hubbard JA287 / Ranger Classic / Ross 308
<i>Klimaatregeling</i>	
Beschrijving luchtinlaat	Via inlaatventielen in de zijgevels
Beschrijving luchtuitlaat	Nokventilatie met 6 ventilatoren waarvan 4 met warmtewisselaar, groffilter en recirculatie. Iedere ventilator: Ø 80 cm, elk max. ca. 20.000 m ³ /uur In de eindgevel zitten 3 ventilatoren (aan/uit-geregeld), Ø 130 cm, elk max. ca. 40000 m ³ /uur Deze ventilatoren springen sporadisch bij Totale ventilatiecapaciteit: ca. 160000 m ³ /uur (ca. 8,4 m ³ /uur per kuiken)
Ventilatieregeling	Op basis van CO ₂ -stalconcentratie
Temperatuurstellingen	Dag 0: ca. 33–34 °C 2200 ppm CO ₂ Dag 7: ca. 28,5 °C Dag 14: ca. 26 °C Dag 21: ca. 24 °C Dag 28: ca. 22 °C Dag 35: ca. 21 °C Daarna tussen 18 en 22 °C, afhankelijk van de buitentemperatuur
Verwarmingssysteem	2 heaters
<i>Bedrijfsvoering</i>	
Beschrijving houderijsysteem	Grondhuisvesting
Beschrijving voersysteem	3 voerlijnen met voerpannen
Voertijden	Onbeperkt tijdens ca. 22 uur per dag waarna de pannen leeggegeten worden
Voer	Vleeskuikenvoer in vier fasen: Start (kruimel): 20,2% Re / 4,5% Rv / 2,7% Rcs / 5,7% Ras Groei A (kruimel): 20,7% Re / 6,0% Rv / 3,0% Rcs / 6,0% Ras Groei B (korrel): 19,2% Re / 6,5% Rv / 3,3% Rcs / 4,9% Ras Afmest (korrel): 19,0% Re / 6,1% Rv / 3,4% Rcs / 4,2% Ras
Beschrijving drinkwatersysteem	4 drinklijnen met nippels met lekschotelletjes
Drinktijden	Onbeperkt
Strooiselmanagement	De stal wordt ingestrooid met turf
Beschrijving verlichting	3 rijen dimbare ledverlichting in de lengte van de stal
Lichtregime	Dag 0 t/m 7: 24L:0D Dag 8 t/m 56: 21L:3D
Schoonmaakregime	Na elke ronde vindt reiniging plaats in 6 stappen: 1) schoonblazen heaters en voerbakken, 2) verwijderen mest met een verreiker, 3) inweken vloer en plafond, 4) inzepen voer-/waterlijnen, 5) schoonspuiten, 6) ontsmetting
<i>Productiecyclus</i>	
Leeftijd en gewicht bij ruimen	Groeiperiode van 6-8 weken. Op dag 33/34 wordt 22–25% van de kuikens uitgeladen tot 39,5 kg/m ² . Wegeladen na 8 weken en ca. 2400 gram
Leegstand tussen koppels	Ca. 1 week



Luchtfoto bedrijf. De pluimveestal waar is gemeten is de bovenste stal.



Luchtfoto bedrijf met omgeving. De pluimveestal waar is gemeten ligt in de blauwe cirkel.



Tekening plattegrond en doorsnede stal. In de plattegrond is met een blauwe cirkel de plaats van de metingen aangegeven.



Vooraanzicht vleeskuikenstal.



Achteraanzicht stal.



Zijaanzicht stal.



Warmtewisselaar hangend aan plafond in de stal.

Bijlage 2 Landbouwkundige voorwaarden

Onderdeel	Landbouwkundige voorwaarde (reguliere vleeskuikens):	Voldoet
Huisvesting	Tijdens de meetperiode wordt voldaan aan de geldende dierwelzijnsnormen. Vóór de meetperiode moet de stal minstens één ronde gebruikt zijn voor de huisvesting van vleeskuikens.	Ja Ja
Strooisel	Materiaal: houtkrullen (0,6 – 1,5 kg/m ²), (gehakseld) tarwestrooisel (0,6 – 2,0 kg/m ²). Turf en snijmaissilage mogen niet worden toegepast.	Ja
Klimaat	De vleeskuikens worden gehouden onder zodanige omstandigheden dat de CO ₂ -concentratie in de lucht van de afdeling onder de 3.000 ppm blijft.	Ja
Voeding	De vleeskuikens krijgen een gangbaar voerschema (CVB) met minimaal 12,2 MJ omzetbare energie (OE in MJ/kg) in het voer. 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 (zie bijlage 1), deze gehalten hebben geen effect op fijnstofemissie Ja, deze gehalten hebben geen effect op fijnstofemissie
Water	Verstrekkingsduur: onbeperkt tijdens de lichtperiode. Water/voerverhouding: 1,70 – 1,80 Er mogen geen wateradditieven worden gebruikt welke een pH verlagend effect hebben, zoals bv. organische zuren.	Ja Nee Ja, dit heeft overigens geen effect op fijnstofemissie
Productie	De vleeskuikens dienen een eindgewicht te hebben van gemiddeld minimaal 2200 g op een leeftijd van maximaal 45 dagen.	Nee, metingen zijn uitgevoerd in stal met trager groeiende vleeskuikens
Gezondheid en hygiëne	De vleeskuikens krijgen standaard veterinaire zorg. Het uitvalspercentage mag niet hoger zijn dan [1% + (dagen leeftijd kuikens x 0,06%)] van het beginaantal.	Nee
Aantal dieren	De groepsgrootte bedraagt minimaal 1000	Ja
Registratie	Gedurende de ronde waarin de meting valt: - totaal aantal kg verstrekt voer in de afdeling/stal - totaal aantal kg verstrekt strooisel in de afdeling/stal - totale hoeveelheid waterverbruik in de meetafdeling/stal - aanwezige + ingaande en uitgaande dieren (ook tijdens de meting) - veterinaire behandeling op koppelniveau - technische resultaten - registratie van de voersamenstelling - CO ₂ -concentratie - drogestofgehalte strooiselmest (per meetdag een stalrepresentatief mengmonster - de wijze waarop voldaan wordt aan tijdens de meetperiode geldende dierwelzijnsnormen	Deels, via foto van de hokkaart en voerbonnen. Deze kengetallen hebben voor het merendeel geen effect op fijnstofemissie.

Bijlage 3 Overzicht alle meetdata

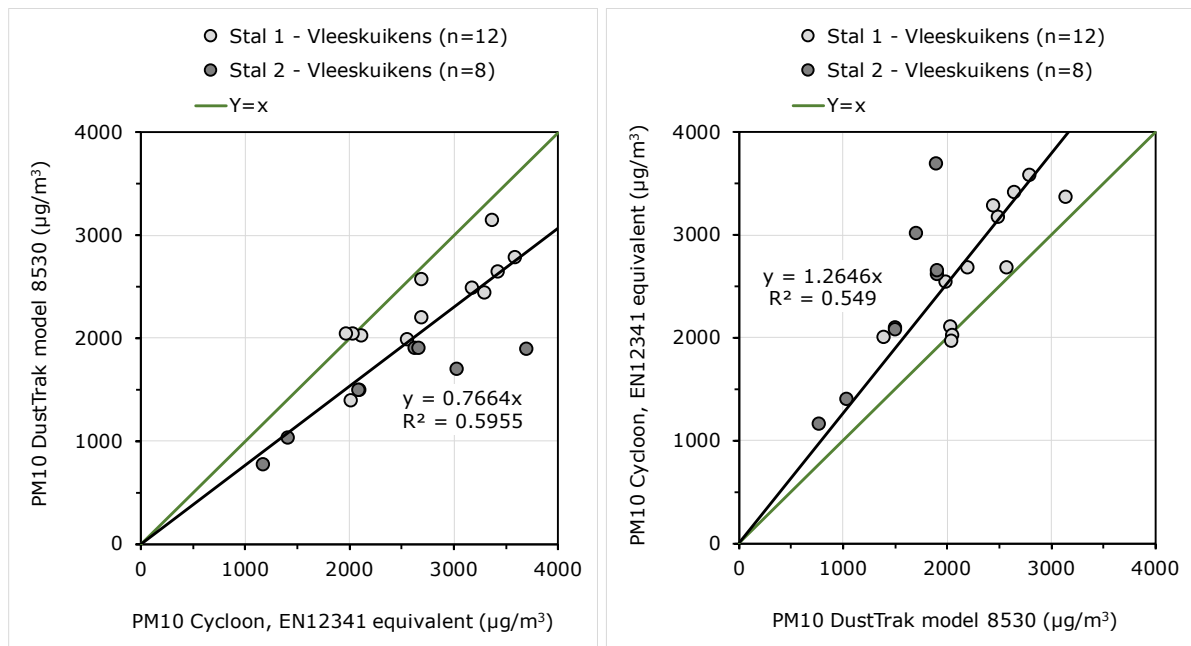
Variabele [eenheid]	METING 1		METING 2		METING 3		METING 4		METING 5		METING 6		METING 7	
	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT	AAN	UIT
Algemeen														
Datum start meting [dd-mm-yyyy]	12/19/2018	12/20/2018	3/12/2019	3/13/2019	5/8/2019	5/7/2019	6/5/2019	6/4/2019	9/12/2019	9/11/2019	10/3/2019	10/2/2019	11/12/2019	11/11/2019
Tijd start meting [hh:mm]	11:15	11:30	12:00	13:00	12:00	10:50	13:00	11:45	12:00	11:00	12:00	10:00	12:10	10:15
Datum einde meting [dd-mm-yyyy]	12/20/2018	12/21/2018	3/13/2019	3/14/2019	5/9/2019	5/8/2019	6/6/2019	6/5/2019	9/13/2019	9/12/2019	10/4/2019	10/3/2019	11/13/2019	11/12/2019
Tijd einde meting [hh:mm]	11:15	11:30	12:00	13:00	12:00	10:50	13:00	11:45	12:00	11:00	12:00	10:00	12:10	10:15
Daagnummer in jaar [#]	353	354	71	72	128	127	156	155	255	254	276	275	316	315
Productengestallen														
Opzetdatum dieren [dd-mm-yyyy]	11/1/2018	11/1/2018	3/1/2019	3/1/2019	4/29/2019	4/29/2019	4/29/2019	4/29/2019	8/21/2019	8/21/2019	8/21/2019	8/21/2019	10/14/2019	10/14/2019
Ras	Hubbard JA757	Hubbard JA757	Hubbard JA757	Hubbard JA757	Hubbard JA757	Hubbard JA757	Hubbard JA757	Hubbard JA757	Ranger Classic	Ranger Classic	Ranger Classic	Ranger Classic	Ross 308	Ross 308
Daagnummer in productieronde	48	49	11	12	9	8	37	36	22	21	43	42	29	28
Tijdvak in ronde	3		1		1		2		2		3		2	
Aantal dieren geplaatst	18640	18640	19170	19170	19170	19170	19170	19170	19170	19170	19170	19170	19170	19170
Aantal dieren aanwezig	17905	17895	18993	18977	18887	18903	18707	18709	18710	18711	18272	18265	18350	18340
Uitval cumulatief [%]	3.94	4.00	0.92	1.01	1.48	1.39	2.42	2.40	2.40	2.39	4.68	4.72	4.28	4.33
Diergewicht [g]	2034	2087	301	339	206	180	1670	1604	742	690	2066	2001	1690	1650
Voeropname [g/dier per dag]	144	151	47	50	24	37	119	118	96	96	155	154	168	151
Wateropname [mL/dier per dag]	250	234	82	88	64	70	225	221	159	168	282	296	265	268
Water/voer-verhouding	1.74	1.55	1.74	1.76	2.67	1.89	1.89	1.87	1.66	1.75	1.82	1.92	1.58	1.77
Buitenlichtcondities														
Gem. temperatuur (KNMI) [°C]	7.7	9.2	6.9	7.7	11.4	10.1	15.5	17.4	18.5	17.1	11.3	10.8	5.5	5.8
Gem. relatieve luchtvochtigheid (KNMI) [%]	80	83	77	80	80	73	79	77	78	85	91	87	87	89
Windrichting (KNMI)	Z.ZZW	ZZW,ZW	ZZW,WZW	WZW,W	ZZO,ZZW	Z.ZZO	W,WZW	OZOW	WZW,NW	ZZW,WZW	ZW,ZW	WNW,ZW	ZZW,Z	Z.ZZW
Achtergrond PM10 (LML) [µg/m³]	10.7	12.5	12.8	12.5	11.8	16.7	12.4	16.0	14.8	15.2	10.6	9.1	9.0	9.2
Achtergrond PM2.5 (LML) [µg/m³]	5.9	5.6	7.0	5.3	6.6	11.3	6.8	7.8	6.4	9.1	4.5	2.5	15.6	8.2
Stallicht en ventilatie														
Gem. luchttemperatuur [°C]	19.7	20.5	26.9	26.2	27.6	27.9	23.2	25.5	25.5	25.1	23.1	22.8	23.3	24.0
Gem. relatieve luchtvochtigheid [%]	71	72	62	59	68	61	68	66	64	70	71	68	65	67
Gem. CO ₂ -concentratie [ppm]	1740	1910	2698	2114	2638	2545	1390	1059	1151	1463	1946	1887	2467	2672
Ventilatiebehoef [m³/h per dier]	2.5	2.3	0.3	0.5	0.3	0.3	2.9	4.2	2.1	1.4	2.2	2.2	1.4	1.3
Fijnstofconcentraties en -emissies														
Gem. concentratie PM10 [µg/m³]	3462	4950	12230	7884	1119	1909	1002	966	784	1091	1424	2059	719	1533
Concentratiereductie PM10 abs. [µg/m³]	1488		-4346		790		-36		307		635		815	
Concentratiereductie PM10 rel. [%]	30		-55		41		-4		28		31		53	
Gem. emissie PM10 [g/dier per jaar]	75.5	97.7	37.2	35.1	2.6	4.2	25.3	35.4	14.1	13.2	27.1	39.9	8.8	16.8
Emissiereductie PM10 abs. [g/dier per jaar]	22.2		-2.1		1.6		10.1		-0.9		12.8		8.1	
Emissiereductie PM10 rel. [%]	23		-6		38		29		-7		32		48	

Bijlage 4 Bepaling correctiefactor voor DustTrak model 8530

De relatie tussen de PM₁₀ concentratie bepaald met de DustTrak en de gravimetrische methode voor PM₁₀ zoals die in gebruik is bij Wageningen Livestock Research is bepaald door in twee verschillende vleeskuikenstallen simultane metingen (n=20) uit te voeren met beide methoden naast elkaar. Van de twee methoden is de gravimetrische methode equivalent aan de PM₁₀ 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 $Y=1,2646x$ 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 1,2646 of afgerond **1,26**.



Bijlage 5 Kalibratie meetapparatuur

Fijnstof-analyse PM₁₀

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, of vaker indien nodig, worden de instrumenten teruggestuurd naar de leverancier voor onderhoud en justeren, gekoppeld aan een nieuw certificaat. Als op basis van de verkregen ruwe data blijkt dat de instrumenten niet betrouwbaar zijn, worden deze geëxcludeerd van de dataset voor verdere bewerking. Door een meettechnicus wordt vervolgens beoordeeld of het instrument moet worden opgestuurd voor justering. Bij herhaling van onbetrouwbare data bij een volgende meting zal het instrument zeker opgestuurd worden.

CO₂-analyse

Testo type 435 met IAQ-probe voor CO₂ en Vaisala CO₂-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 CO₂-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 [www.wur.nl/
livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research)

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

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

