

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 731

Emissies uit mestdroogsystemen op leghennenbedrijven bij dagontmesting en versneld drogen

Oktober 2014



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,
2014

Overname van de inhoud is toegestaan,
mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research (formeel ASG
Veehouderij BV) aanvaardt geen aansprakelijkheid
voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik
van de resultaten van dit onderzoek of de
toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research, formeel 'ASG
Veehouderij BV', vormt samen met het Centraal
Veterinair Instituut en het Departement
Dierwetenschappen van Wageningen Universiteit
de Animal Sciences Group van Wageningen UR.
Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV
onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze
onderzoeksoverdrachten zijn de Algemene
Voorwaarden van de Animal Sciences Group
van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de
Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

In this study the hypothesis was tested that daily removal of all laying hen manure followed by rapid drying substantially reduces extra ammonia emissions from manure drying systems. This hypothesis has been shown to be correct. Furthermore, the altered way of intensive drying still results in a substantial reduction of particulate matter emissions.

Keywords

Poultry, laying hens, manure drying systems, ammonia, particulate matter, dry matter content

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

A. Winkel
J.W.H. Huis in't Veld
G.M. Nijeboer
H. Schilder
T.G. van Hattum
H.H. Ellen
N.W.M. Ogink

Titel

Emissies uit mestdroogsystemen op
leghennenbedrijven bij dagontmesting en
versneld drogen

Rapport 731

Samenvatting

In dit onderzoek is de hypothese getoetst dat met het dagelijks afdraaien van alle stalmest naar een mestdroogstelsysteem (dagontmesting), gevolgd door snelle indroging, de extra ammoniakemissie uit deze droogsystemen aanzienlijk kan worden beperkt. Deze hypothese is bevestigd door het onderzoek. Daarnaast is gebleken dat de aangepaste manier van drogen nog steeds een aanzienlijke fijnstofreductie bewerkstelligt.

Trefwoorden

Pluimvee, leghennen, mestdroogsystemen, ammoniak, fijnstof, drogestofgehalte



Rapport 731

Emissies uit mestdroogsystemen op leghennenbedrijven bij dagontmesting en versneld drogen

Emissions from manure drying systems on layer farms using 24-h manure removal and rapid drying

A. Winkel

J.W.H. Huis in't Veld

G.M. Nijeboer

H. Schilder

T.G. van Hattum

H.H. Ellen

N.W.M. Ogink

Oktober 2014

Voorwoord

Uit recent emissieonderzoek is gebleken dat de emissie van fijnstof uit leghennenstallen substantieel kan worden verminderd door het toepassen van aan de leghennenstal nageschakelde mestdroogsystemen (banddroger, platdroger en droogzolder). Tegelijk is echter gebleken dat de extra ammoniakemissie die optreedt uit deze droogmest aanzienlijk hoger is dan verwacht. In deze studie is onderzocht of de extra ammoniakemissie uit mestdroogsystemen kan worden beperkt door de mest niet meer voor te drogen in de stal middels mestbandbeluchting, maar binnen 24 uur af te draaien naar het mestdroogstelsel, waar de mest binnen korte tijd tot drogestofgehalten boven ca. 55% wordt gedroogd. Hiertoe zijn metingen verricht aan mestdroogsystemen op twee legpluimveebedrijven die volgens deze gebruiksvoorwaarden werken. Onze dank gaat uit naar de betrokken pluimveehouders voor hun deelname aan het onderzoek, het beschikbaar stellen van hun bedrijfslocaties t.b.v. het uitvoeren van metingen en voor hun vriendelijke assistentie in uiteenlopende situaties. Dank is ook verschuldigd aan de firma Jansen Poultry Equipment voor het optimaliseren van de droogtunnel op meetlocatie 2 t.b.v. dit onderzoeksproject. Tot slot danken we de begeleidingscommissie voor het begeleiden van het onderzoek. De inzet van alle betrokkenen is zeer gewaardeerd.

Ir. A. (Albert) Winkel
Projectleider

Samenvatting

Om aan Europese normen t.a.v. maximale concentraties van fijnstof in de buitenlucht te kunnen voldoen, dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de emissie uit belangrijke bronnen terugdringen, waaronder pluimveestallen. Een oplossing voor leghennentallen is de inzet van (aan de stal nageschakelde) mestdroogsysteem. Bij deze systemen wordt warme en stofrijke ventilatielucht door een laag pluimveemest op een geperforeerde band of plaat geblazen om deze te drogen. Uit eerder onderzoek is gebleken dat hierbij veel stof uit de ventilatielucht wordt verwijderd. Tegelijk bleek echter dat de extra emissies van ammoniak uit deze systemen aanzienlijk hoger waren dan verwacht mocht worden op basis van de emissiefactoren uit de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav). In overleg tussen de overheid, leveranciers van mestdroogsysteem en deskundigen zijn gebruiksvoorwaarden geformuleerd waarmee de extra ammoniakemissies onder controle gebracht zouden kunnen worden, zodat mestdroogsysteem beschikbaar kunnen komen als toegelaten stofreductietechniek. In dit onderzoek is de hypothese getoetst dat met het dagelijks afdraaien van alle stalmest naar een mestdroogsysteem ('dagontmesting'; in plaats van wekelijkse of tweewekelijkse ontmesting), gevolgd door snelle indroging van de verse mest, de extra ammoniakemissie aanzienlijk kan worden beperkt.

Deze hypothese is getoetst op twee legpluimveebedrijven met een droogtunnel. Locatie 1 bestond uit een drie-etagestal met grondhuisvesting en een platendroger (Rav code E 6.4.2). Locatie 2 bestond uit twee twee-etagestallen met volièrehuisvesting en een nageschakelde banddroger (Rav code E 6.4.1). Op beide locaties werd dagelijks alle mest uit de stal afgedraaid naar de droogtunnel en werd de stalmest niet voorgedroogd. De maximale verblijftijd van de mest in de stal bedroeg ca. 24 uur, de gemiddelde verblijftijd ca. 12 uur. Om een snelle droging te krijgen werd de verse mest dun aangebracht (7–10 cm). Op locatie 2 werd daarnaast relatief meer ventilatielucht door de 'verse droogniveaus' gestuurd.

Aan deze stallen en droogtunnels zijn waarnemingen/metingen verricht van fijnstof (PM10 en PM2,5), ammoniak, geur, methaan, lachgas, koolstofdioxide, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, drukval, drogestofgehalte van de mest en werden dier- en productiegegevens vastgelegd. Aan de hand van gemeten CO₂-concentraties en verzamelde dier- en productie gegevens werd het ventilatiedebiet bepaald middels de CO₂-massabalansmethode. Zowel de emissies die optraden door bypassventilatie uit de stal als de emissies die optraden door de ventilatie door de droogtunnel zijn bepaald. De metingen werden uitgevoerd van december 2011 t/m november 2012. Bij de meetstrategie en meetmethoden werden de geldende meetprotocollen zo veel mogelijk gevolgd. In totaal zijn 5 metingen van 24 uur uitgevoerd op locatie 1 en 7 metingen van 24 uur op locatie 2, waarvan metingen 3 t/m 7 werden uitgevoerd na optimalisatie van de droogtunnel op deze locatie.

Uit dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- de onderzochte manier van het snel indrogen van dagverse en niet voorgedroogde mest is technisch mogelijk en resulteert in een droogproduct met een voldoende hoog drogestofgehalte;
- de achterliggende hypothese van dit onderzoek dat met het dagelijks afdraaien van alle stalmest naar het mestdroogsysteem, gevolgd door snelle indroging, de extra ammoniakemissie aanzienlijk kan worden beperkt, is succesvol aangetoond. De gemiddelde extra ammoniakemissies (\pm standaardafwijking tussen metingen) uit de droogtunnels bedroegen $0,024 \pm 0,010$ kg/dierplaats per jaar voor locatie 1 en $0,045 \pm 0,029$ kg/dierplaats per jaar voor locatie 2. Deze extra emissies zijn aanzienlijk lager dan die gevonden in recent onderzoek aan stallen zonder voorgedroging en een reguliere afdraaifrequentie/nadroging (gemiddeld $0,241$ kg/dierplaats per jaar). Uitgedrukt als percentage op stalniveau (droogventilatie + stalventilatie) bedroegen de gemiddelde emissietoenames voor ammoniak $19,5 \pm 17,3\%$ voor locatie 1 en $53,8 \pm 49,1\%$ voor locatie 2. De extra emissie is hoger voor locatie 2 omdat daar een groter deel van de totale ventilatie door de droogtunnel plaatsvindt; de absolute toename van de ammoniakconcentratie over de mestlaag was vergelijkbaar voor de bedrijven;
- de onderzochte manier van het snel indrogen van dagverse mest resulteert nog steeds in een substantiële verwijdering van PM10, van gemiddeld $59,1 \pm 8,8\%$ voor locatie 1 en $64,4 \pm 2,9\%$ voor locatie 2. Op stalniveau (droogventilatie + stalventilatie) bedroegen de emissiereducties van PM10 $32,0 \pm 6,5\%$ voor locatie 1 en $51,3 \pm 14,3\%$ voor locatie 2. Hierbij werden piekemissies van fijnstof tijdens het draaien van de droogtunnels voorkomen doordat de stalventilatoren de benodigde ventilatiebehoefte van de droogventilatoren automatisch overnamen;

- de onderzochte manier van het snel indrogen van dagverse mest resulteert – net als bij reguliere manieren van drogen – in een aanzienlijke toename van de geurconcentratie over de mestlaag; de gemiddelde toename bedroeg $86,9 \pm 71,4\%$ voor locatie 1 en $65,0 \pm 30,9\%$ voor locatie 2. Uitgedrukt als percentage op stalniveau (droogventilatie + stalventilatie) bedroegen de gemiddelde emissietoenames voor geur gemiddeld $50,0 \pm 43,2\%$ voor locatie 1 en $52,1 \pm 32,3\%$ voor locatie 2;
- de concentraties van methaan en lachgas in dit onderzoek waren vergelijkbaar met de achtergrondconcentraties; voor deze broeikasgassen konden geen emissies worden vastgesteld;
- met de gekozen onderzoeksopzet kan niet worden vastgesteld of de extra ammoniakemissie vanuit de droogtunnel in enige mate wordt gecompenseerd door een lagere emissie vanuit de stal door het toepassen van dagontmesting, hetgeen op grond van de beschikbare literatuur verwacht mag worden;
- tot slot moet bedacht worden dat de fijnstofreductie van mestdroogsystemen – ook bij de onderzochte manier van drogen – vergezeld gaat met extra emissie van ammoniak en geur.

Summary

To be able to comply with European standards on maximum fine dust concentrations in the ambient air, measures need to be taken in The Netherlands to reduce emissions of fine dust from major emission sources, including poultry houses. One solution is the use of manure drying systems in the ventilation outlet of laying hen houses. In these systems, warm and dusty air is forced through a layer of manure on a perforated belt. Previous research has shown that a substantial part of the dust is filtered out by the manure layer. However, it also became clear that these manure drying systems emit much more ammonia than expected based on their emission factors in the Dutch regulatory list. In meetings between the government, manufacturers of manure drying systems and experts, measures were defined to mitigate these high ammonia emissions, ensuring that manure drying systems can become available as a dust mitigation option for layer farms. In this study the hypothesis was tested that daily removal of all laying hen manure (24-h removal) followed by rapid drying reduces the extra ammonia emissions substantially.

This hypothesis was tested at two layer farms with a manure drying system. Location 1 was a 3-storey layer house with floor housing. Location 2 consisted of two 2-storey layer houses with aviary systems. At location 1 a manure drying system with metal plates was present, whereas location 2 was equipped with a manure drying system with plastic belts. At both locations, manure from the house was removed to the drying system daily by manure belts. The maximum residence time of the manure on the belts inside the house was 24 h, the average residence time was 12 h. To achieve rapid drying, fresh manure was brought onto the first drying levels in a thin layer (7–10 cm). In addition, at location 2, a larger part of the total drying ventilation was directed through the 'fresh' drying levels.

At these locations, we measured concentrations of fine dust (PM10 and PM2.5), ammonia, odour, methane, nitrous oxide, carbon dioxide, air temperature, air humidity, air pressure and dry matter content of the manure. Furthermore, animal and production characteristics were collected. Based on CO₂-concentrations and animal and production characteristics, ventilation exchange rates were determined using the CO₂ mass balance method. Both the emissions directly from the layer house (bypass ventilation) and the emissions through the drying systems (drying ventilation) were determined. Measurements were carried out between December 2011 and November 2012, following the applicable measurement protocols as close as possible. In total, 5 24-h measurements were made at location 1 and 7 at location 2, of which measurements 3 to 7 were carried out after optimization of the drying process of that system.

From this study, the following conclusions are drawn:

- the studied method of rapid drying of fresh manure (not pre-dried by manure belt aeration) is technically feasible and results in a drying product with a sufficiently high dry matter content;
- the underlying hypothesis of this study that daily removal of all manure to the manure drying system, followed by rapid drying, will substantially reduce the extra ammonia emissions, has been successfully demonstrated. The average additional ammonia emission (\pm standard deviation between measurements) from the drying systems amounted 0.024 ± 0.010 kg/animal place per year for location 1 and 0.045 ± 0.029 kg/animal place per year for location 2. These extra emissions are considerably lower than those found in recent research at layer houses without manure belt aeration, and with a conventional removal frequency and drying process. Expressed as a percentage at house level (drying ventilation + bypass ventilation) the average extra ammonia emission amounted $19.5 \pm 17.3\%$ for location 1 and 53.8 ± 49.1 for location 2. The extra ammonia is higher for location 2 because a larger part of the total ventilation is realized through the drying system. The absolute increase in ammonia concentration over the manure layer was similar for the two locations;
- the studied method of rapid drying of fresh manure still leads to a substantial removal of PM10, averaging $59.1 \pm 8.8\%$ for location 1 and $64.4 \pm 2.9\%$ for location 2. At house level (drying ventilation + bypass ventilation) the average PM10 emission reduction amounted $32.0 \pm 6.5\%$ for location 1 and $51.3 \pm 14.3\%$ for location 2. During loading of the manure drying systems, the bypass ventilators took over the ventilation need to avoid peak emissions of PM10;
- the studied method of rapid drying of fresh manure still leads to a substantial increase of the odour concentration over the manure layer, as was the case in previous emission research into (conventional) drying. The average increase amounted $86.9 \pm 71.4\%$ for location 1 and $65.0 \pm 30.9\%$ for location 2. Expressed as a percentage at house level (drying ventilation + bypass

ventilation) the average extra odour emission amounted $50.0 \pm 43.2\%$ for location 1 en $52.1 \pm 32.3\%$ for location 2;

- the concentrations of methane and nitrous oxide in this study were similar to background concentrations and did not change over the manure layer, in accordance with previous emission research into (conventional) manure drying. Emissions of these gases are either very low or do not occur at all;
- the chosen study design cannot show whether or not some of the extra ammonia emission from the manure drying systems is compensated by a lower house emission due to the daily removal of the manure on the belts, which, on the basis of the available literature, may be expected.
- finally, it should be realized that the environmental gain of manure drying systems with regard to fine dust is accompanied with extra emissions of ammonia and odour; also with the studied method of rapid drying of fresh manure.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methoden	2
2.1	Hoofdpijnen van het onderzoek	2
2.2	Leghennenstallen en droogtunnels in dit onderzoek	2
2.3	Metingen	2
2.3.1	Meetposities en bemonsteringsduur	2
2.3.2	Fijnstof (PM10 en PM2,5) d.m.v. gravimetrische filtratie	3
2.3.3	Fijnstof (PM10) d.m.v de lichtverstrooiingsmethode.....	4
2.3.4	Ammoniak	4
2.3.5	Geur	4
2.3.6	Broeikasgassen (CO ₂ , CH ₄ en N ₂ O).....	5
2.3.7	Temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en overdruk.....	5
2.3.8	Productiegegevens	5
2.3.9	Drogestofgehalte mest.....	5
2.3.10	Ventilatie-debiet van stal en mestdroogstelsel	6
2.4	Rekenmethoden	8
2.4.1	Berekening emissies.....	8
2.4.2	Berekening emissiereducties.....	8
2.4.3	Berekening verwijderingsrendementen over de mestlaag	9
3	Resultaten	10
3.1	Meetomstandigheden.....	10
3.2	Luchttemperatuur, luchtvochtigheid en drogestofgehalten mest	12
3.3	Ventilatie-debieten.....	13
3.4	Concentraties, emissies en reducties van PM10.....	14
3.5	Concentraties, emissies en reducties van PM2,5.....	16
3.6	Concentraties en emissies van ammoniak	17
3.7	Concentraties en emissies van geur	18
3.8	Concentraties en emissies van methaan en lachgas	19
4	Discussie	20
	Conclusies	23
	Literatuur	24
	Bijlagen	27
Bijlage A	Beschrijving locatie 1	27
Bijlage B	Beschrijving locatie 2	33
Bijlage C	Figuren temperatuur en luchtvochtigheid locatie 1.....	39
Bijlage D	Figuren temperatuur en luchtvochtigheid locatie 2.....	40
Bijlage E	Figuren tijdsverloop in overdruk in drukkamers locaties 1 en 2	41
Bijlage F	Gegevenstabel concentraties, debieten en emissies locatie 1	42
Bijlage G	Gegevenstabel concentraties, debieten en emissies locatie 2	43

1 Inleiding

Om aan Europese normen t.a.v. maximale concentraties van fijnstof in de buitenlucht te kunnen voldoen, dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de emissie uit belangrijke bronnen terugdringen. De veehouderij draagt voor ongeveer 20% bij aan de totale, jaarlijkse, primaire emissie van fijnstof in Nederland (Chardon and Van der Hoek, 2002; RIVM, 2011). Het merendeel van het fijne stof uit de landbouw komt uit varkens- en pluimveestallen (Takai et al., 1998). Met name pluimveestallen met strooiselvloeren dragen in belangrijke mate bij aan de emissie van fijnstof in Nederland. Een oplossing is de inzet van mestdroogsystemen nageschakeld aan pluimveestallen (categorieën E 6.1, E 6.4.1 en E 6.4.2, Regeling ammoniak en veehouderij; Rav). Bij deze systemen wordt warme en stofrijke ventilatielucht door een laag pluimveemest geblazen om deze te drogen. Hierbij wordt tevens stof uit de ventilatielucht verwijderd.

In een eerder uitgevoerd meetprogramma voor het vaststellen van emissies uit de veehouderij zijn onder meer de emissies uit leghennenstallen met droogtunnels vastgesteld (Winkel et al., 2011). Daarbij bleek dat de toepassing van mestdroogsystemen kan leiden tot een aanzienlijke reductie van de stofemissie. Uit dit onderzoek bleek echter ook dat er sprake was van een hogere extra ammoniakemissie uit de droogtunnels dan op basis van de emissiefactoren uit de Regeling ammoniak en veehouderij verwacht mocht worden. Deze bevindingen waren de basis voor overleg tussen de overheid, leveranciers van mestdroogsystemen en deskundigen met als doel de ongewenste uitstoot van ammoniak terug te dringen door de formulering van verbeterde gebruiksvoorwaarden in de praktijk. Controle over deze ammoniakuitstoot is noodzakelijk om de toepassing van mestdroogsystemen als stofreducerende maatregel in de pluimveehouderij op een verantwoorde wijze mogelijk te maken. Uit dit overleg zijn twee potentiële oplossingen naar voren gekomen.

Een eerste oplossing is om stalmest in de stal middels mestbandbeluchting intensief voor te drogen tot ca. 55% drogestof alvorens deze mest in het mestdroogstelsel na te drogen. De achterliggende gedachte hierbij is dat dit gehalte hoog genoeg is om de microbiële activiteit die leidt tot ongewenste ammoniakvorming te onderdrukken, zodat de extra ammoniakemissie tijdens het nadroogproces aanzienlijk kan worden beperkt. Het perspectief van deze oplossing wordt in separaat onderzoek geverifieerd op negen legpluimveebedrijven met een nageschakeld mestdroogstelsel in de praktijk (Winkel et al., 2013). Een tweede oplossing is om alle stalmest dagelijks in te brengen in het mestdroogstelsel zonder deze mest nog in de stal voor te drogen. De mest ligt bij deze oplossing gemiddeld slechts 12 uur in de stal, waarna het nadroogproces reeds wordt gestart, in de huidige praktijk ligt dit doorgaans hoger, tussen ca. 1 en 3,5 dagen. In het droogstelsel wordt de mest snel gedroogd; tot ca. 55% drogestof. De achterliggende gedachte hierbij is dat het droogproces reeds wordt ingezet voordat de microbiële omzetting van urinezuur en eiwitten tot ammoniak op gang is gekomen. Door de overheid is besloten mestdroogsystemen als stofreducerende techniek aan te merken onder de voorwaarde dat aan een van deze twee aanvullende gebruiksvoorwaarden wordt voldaan.

T.a.v. de tweede gebruiksvoorwaarde zijn in het onderhavige onderzoek de volgende vraagstellingen onderzocht:

- is de gebruiksvoorwaarde praktisch haalbaar? Leidt deze methode van drogen tot een voldoende droog product?
- geeft de gebruiksvoorwaarde een aanzienlijk lagere ammoniakemissie uit de droogtunnel dan bij 'conventioneel nadrogen' zoals gevonden door Winkel et al. (2011)?
- blijft het fijnstofverwijderend vermogen van mestdroogsystemen gehandhaafd?
- wat zijn bij deze gebruiksvoorwaarde de (extra) emissies van geur, methaan en lachgas?

Deze vraagstellingen zijn onderzocht middels het uitvoeren van emissiemetingen aan twee legpluimveestallen met een droogtunnel. Deze twee bedrijven voldeden aan de volgende kenmerken: a) geen voordroging (mestbandbeluchting) in de stal, b) ontmesting van de gehele stal binnen 24 uur, c) snelle indroging in het mestdroogstelsel, en d) uitgeschakelde droogventilatie tijdens het draaien van de droogtunnel (en overname door de stalventilatoren) om piekemissies van stof uit de droogtunnel zelf te voorkomen. Wanneer deze oplossing perspectiefvol blijkt, kan dit onderzoek als basis dienen voor het vaststellen van emissiecijfers t.a.v. regelgeving en vergunningverlening.

2 Materiaal en methoden

2.1 Hoofdpijnen van het onderzoek

In dit onderzoek is de hypothese getoetst dat met het dagelijks afdraaien van alle stalmest naar een mestdroogsysteem (dagontmesting), gevolgd door snelle indroging, de extra ammoniakemissie aanzienlijk kan worden beperkt. Deze hypothese is getoetst op twee legpluimveebedrijven met een droogtunnel.

Aan deze stallen en droogtunnels zijn waarnemingen/metingen verricht van fijnstof (PM10 en PM2,5), ammoniak, geur, methaan, lachgas, ventilatiedebiet, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, drukval, drogestofgehalte van de mest en de technische resultaten van de hennen; in overeenstemming met de geldende meetprotocollen. Zowel de emissies die optraden door bypassventilatie uit de stal als de emissies die optraden door de ventilatie door de droogtunnel zijn bepaald. In totaal zijn 5 metingen van 24 uur uitgevoerd op locatie 1 en 7 metingen van 24 uur op locatie 2, waarvan metingen 3 t/m 7 werden uitgevoerd na optimalisatie van de droogtunnel op deze locatie. De metingen werden uitgevoerd van december 2011 t/m november 2012.

2.2 Leghennenstallen en droogtunnels in dit onderzoek

De belangrijkste kenmerken van de twee leghennenstallen en mestdroogsysteem in dit onderzoek worden weergegeven in Bijlage A (stal 1; grondhuisvesting) en Bijlage B (stal 2; volièrehuisvesting). In deze bijlagen zijn verder schematische tekeningen van de stallen en mestdroogsysteem en foto-impressies van de stallen en de metingen opgenomen.

Op locatie 1 werd dagontmesting toegepast en was een platendroger aanwezig waarin de verse mest werd ingebracht in een laagdikte van ca. 10 cm. Op deze locatie zijn de metingen uitgevoerd aan de droogtunnel zoals deze reeds voor dit onderzoek in werking was. Verdere optimalisaties lagen hier niet voor de hand.

Op locatie 2 werd eveneens dagontmesting toegepast. De uitkomsten van meting 1 en 2 op locatie 2 gaven echter een ongunstig beeld voor wat betreft de extra emissie van ammoniak (par. 3.6). Daarom is de droogtunnel op locatie 2 door de leverancier van het systeem geoptimaliseerd. De aanpassingen bestonden uit het in een dunnere laag aanbrengen van de verse mest op de eerste mestbanden. Daarnaast werden de luchtinstroomopeningen van mestbanden 5 t/m 9 geheel afgesloten. De instroomopening naar banden 3 en 4 werd vernauwd terwijl de instroomopening van banden 1 en 2 geheel open werd gelaten. Hiermee werd een snellere indroging van de verse mest verkregen. Meting 3 (de eerste meting na de optimalisatie) liet vervolgens een zeer gunstig beeld zien. Tijdens metingen 4 en 5 was de instroomopening van banden 5 en 6 weer enigszins opengewerkt om een te hoge drukval in de drukkamer te voorkomen. Omdat de resultaten van metingen 4 en 5 een minder gunstig beeld lieten zien dan meting 3, is deze kleine aanpassing weer teruggedraaid voor metingen 6 en 7.

2.3 Metingen

2.3.1 Meetposities en bemonsteringsduur

In dit onderzoek zijn concentratiemetingen verricht van fijnstof (PM10 en PM2,5), ammoniak, geur, koolstofdioxide, methaan en lachgas. Deze componenten zijn gemeten in de buitenlucht die de stal instroomt (buiten de stal) en in de stal, in de luchtstroom die de stal verlaat, vlak vóór de ventilatoren. De stalconcentraties van PM10, PM2,5, ammoniak, koolstofdioxide, methaan en lachgas zijn in duplo gemeten, de stalconcentratie van geur in enkelvoud. Buiten werden alle componenten in enkelvoud gemeten. De concentratiemetingen van PM10, PM2,5, ammoniak, koolstofdioxide, methaan en lachgas werden uitgevoerd in bemonsteringsperioden van 24 uur, de concentratie van geur gedurende 2 uren.

2.3.2 Fijnstof (PM10 en PM2,5) d.m.v. gravimetrische filtratie

Op locatie 2 zijn de volgende fijnstofmonsters genomen tijdens de meetdagen:

- 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan 10 µm (PM10);
- 24-uurs monsters van deeltjes kleiner dan 2,5 µm (PM2,5).



Figuur 1 Monsterapparatuur voor het meten van PM10 en PM2,5 d.m.v. gravimetrische filtratie. Links: een set apparatuur voor gravimetrische meting van PM10 (linker driepoot) en PM2,5 (rechter driepoot). Midden: detailfoto van de 'constant flow' monsternamepomp. Rechts: de DustTrak model 8520 voor continue/optische meting van PM10

Figuur 1 laat de monstername-apparatuur zien voor PM10 en PM2,5. De apparatuur voor gravimetrische meting is gebaseerd op de referentie monsternamekoppen in standaard EN 12341 en standaard EN 14907 voor bepaling van PM10 en PM2,5 concentraties in de buitenlucht (CEN, 1998, 2005). Het verschil tussen de gebruikte apparatuur en deze standaard apparatuur voor de buitenlucht is dat de impactor voorafscheider is vervangen door een cycloon voorafscheider. Dit vanwege het gevaar van overbelading van de impactieplaat, vooral bij bemonstering van PM2,5 (Zhao et al., 2009).

PM10 en PM2,5 werd verzameld op een filter, nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM10 of PM2,5 cycloon (URG Corp., Chapel Hill, VS). Het stof werd verzameld op glasvezelfilters met een diameter van 47 mm (type MN GF-3, Macherey-Nagel GmbH & Co., Düren, Duitsland). De filters werden voor en na de stofmonstername gewogen onder standaard condities: een temperatuur van $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ en een relatieve luchtvochtigheid van $50\% \pm 5\%$ in het Milieulaboratorium van Wageningen UR, volgens de procedures van dit laboratorium. Deze voorwaarden staan beschreven in EN 14907 (CEN, 2005). Het verschil in gewicht voor en na de metingen werd gebruikt om de hoeveelheid verzameld stof te bepalen. Lucht werd door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamepompen van het type Charlie HV (roterend, $6\text{ m}^3/\text{uur}$, Ravebo Supply BV, Brielle). Deze 'constant flow' pompen regelen het debiet automatisch op basis van de gemeten temperatuur bij de monsternamekop (inlaat). Het debiet van deze pompen blijft ook constant bij toename van de drukval over het filter. Hierdoor werd een stabiele luchtstroom verkregen binnen 2% van de nominale waarde. De pompen werden geprogrammeerd op een flow van $1,0\text{ m}^3/\text{uur}$ en op een start- en eindtijd van de monsternameperiode. De werkelijke hoeveelheid lucht die bij de monsternamepunten werd aangezogen werd met een gasmeter gemeten (gecorrigeerd naar de temperatuur bij de monsternamepunten). De 24-uursgemiddelde massaconcentratie werd vervolgens bepaald door de massa aan ingevangen stof te delen door het volume bemonsterde lucht. Voor een uitvoerige beschrijving van het stofmeetprotocol, de achtergronden en de stofmeetapparatuur wordt verwezen naar Hofschreuder et al. (2008), Zhao et al. (2009) en Ogink et al. (2011a). In de eerste publicatie staan tevens correctielijnen vermeld (zie pag. 33) voor omrekening van de concentraties gevonden met cycloon monsternamekoppen naar impactor monsternamekoppen. De volgende correcties zijn uitgevoerd voor PM10: bij $<222,6\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$: $y = 1,0877 x$; bij $>222,6\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$: $y = 0,8304 x + 57,492$, waarbij y de gecorrigeerde en x de met cyclonen gemeten concentratie is.

2.3.3 Fijnstof (PM10) d.m.v de lichtverstrooiingsmethode

Op locatie 1 kon de gravimetrische meetmethode (par. 2.3.1) niet worden ingezet omdat gemeten moest worden in drie tijdsintervallen per dag (buiten het draaien van de droogtunnel om; van 12:00–18:00, van 20:15–06:00 en van 08:15–12:00 uur). Een dergelijk programma kan in de monsternamepompen voor gravimetrische filtratie niet worden geprogrammeerd. Daarom is op locatie 1 de PM10 concentratie in de ingaande en uitgaande luchtstroom van de droogtunnel gemeten met twee DustTraks per zijde van de droogtunnel (DustTrak™ Aerosol Monitor, model 8520, TSI Incorporated, Shoreview, VS; Figuur 1). De PM10 concentratie werd elke seconde gemeten en minuutgemiddelden werden gelogd in het geheugen van het apparaat. Na het downloaden van de waarnemingen werden alleen de minuutconcentraties uit de beoogde tijdsintervallen gebruikt voor het bepalen van gemiddelde concentraties en emissies. Van de DustTraks is bekend dat zij een consequente/systematische fout kennen in het meten van PM10 stof afkomstig uit stallen. Daarom zijn de gemeten concentraties gecorrigeerd naar gravimetrische concentraties met behulp van de correctielijnen zoals gepubliceerd door Cambra-López et al. (2012). Op locatie 2 werden de DustTraks volgens dezelfde methode ingezet, echter, hier uitsluitend om het verloop van de PM10 concentraties gedurende de dag te bepalen.

2.3.4 Ammoniak

Ammoniak in de lucht werd bemonsterd door middel van wasflessen/impingers. Bij deze zogenaamde 'natchemische methode' (Wintjes, 1993) wordt de lucht via een monsternameleiding met een constante luchtstroom (~1,0 L/min) aangezogen met behulp van een Elektropomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS; Figuur 2) en een kritische capillair die de luchtstroom reduceert tot ~1,0 L/min. Deze luchtstroom wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) gezogen, waarbij de ammoniak wordt afgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag van ammoniak wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag van vloeistof naar de elektropomp te voorkomen wordt de lucht na de twee impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid (Figuur 2). Na de bemonsteringstijd wordt de concentratie gebonden ammoniak spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting wordt de flow door de impingers gemeten m.b.v. een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp., VS; Figuur 2). Op grond van de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH_4^+ gehalte van de wasvloeistof en de hoeveelheid vloeistof wordt de ammoniakconcentratie in de bemonsterde lucht bepaald.

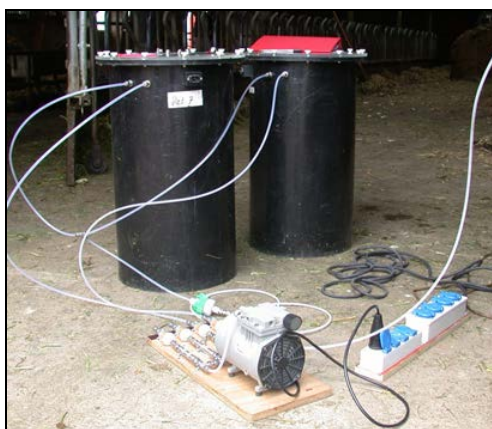


Figuur 2 Foto's van de natchemische meetmethode voor ammoniak. Links: twee sets van drie in serie geschakelde wasflessen. Midden: de flowmeter. Rechts: de elektropomp met zes pijpen met een kritisch capillair

2.3.5 Geur

Voor het meten van de geurconcentratie werd lucht bemonsterd volgens de zogenaamde 'longmethode' (Ogink and Mol, 2002). Bij deze methode wordt een 40 L Nalophan monsterzak in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een elektropomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een teflon slang te zuigen, ontstaat in het vat onderdruk en wordt de te bemonsteren lucht aangezogen in de zak. De lucht wordt aangezogen door een kritisch capillair welke de flow reduceert tot een constante luchtstroom van 0,4 L/min. De monstername werd uitgevoerd gedurende twee uren (tussen 10:00 en 12:00 uur; totaal 48 L). Voordat de lucht in een geurvrije zak werd verzameld werd deze door een stoffilter geleid (type #1130, Ø 50

mm, 1-2 µm, Savillex® Corp., Minnetonka, VS). De geuranalyses werden uitgevoerd volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Dit betekent o.a. dat het luchtmonster binnen 30 uur na monsternamen werd aangeboden ter analyse. Het geurlaboratorium is onder nummer L400 geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses.



Figuur 3 Meetopstelling voor het nemen van een luchtmonster middels de longmethode, voor bepaling van concentraties van geur en broeikasgassen

2.3.6 Broeikasgassen (CO_2 , CH_4 en N_2O)

Voor het meten van de concentraties van broeikasgassen (koolstofdioxide, methaan en lachgas) werd lucht eveneens bemonsterd volgens de longmethode (zie par. 2.3.5) bij een constante flow van 0,02 L/min gedurende 24 uur. Op deze wijze werd een 24-uurs luchtmonster verkregen. Het gehalte aan broeikasgassen in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A (CH_4 , CO_2), Haysep Q (N_2O); detector: CH_4 : FID, N_2O : ECD, CO_2 : HWD).

2.3.7 Temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en overdruk

Temperatuur (T; °C) en relatieve luchtvochtigheid (RV; %) van de ingaande en uitgaande luchtstroom van de mestdroogsystemen werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS), met een nauwkeurigheid van respectievelijk $\pm 1,0$ °C en $\pm 2\%$. De data werden opgeslagen in een datalogstelsel (typen: CR10, CR10X, CR23 en CR23X, Campbell Scientific Inc., Logan, VS). Daarnaast werden de meteorologische data van het dichtstbijzijnde KNMI weerstation verkregen via de website van het KNMI. De overdruk in de drukkamer (Pa) werd gemeten met een drukkometer (Testo type 435-4, Testo BV, Almere).

2.3.8 Productiegegevens

Van elke meetdag werden de volgende gegevens geregistreerd of berekend:

- Aantal opgezette en aanwezige hennen
- Geboortedatum, opzetdatum; dagnummer in kalenderjaar, dagnummer in productie en leeftijd
- Gemiddeld hengewicht (kg)
- Aantal eieren en gemiddeld eigewicht (g)
- Legpercentage (%; berekend als: [# eieren] / [# hennen]*100)
- Cumulatieve uitval (%; berekend als: $(1 - [\# \text{ hennen aanwezig}] / [\# \text{ hennen opgezet}]) * 100$)

2.3.9 Drogestofgehalte mest

Tijdens elke emissiemeting werden monsters genomen van de mest op de aanvoerband tussen stal en droogstelsel (verse mest), van de mest in het droogstelsel, en van de gedroogde mest in de opslag.

De mestmonsters werden gedurende 24 uur gedroogd in een droogstoof bij 105 °C. Het drogestofgehalte werd bepaald volgens onderstaande formule:

$$\text{Drogestofgehalte (\%)} = \frac{\text{bak}_{\text{gedroogd}} - \text{bak}_{\text{leeggewicht}}}{\text{bak}_{\text{ongedroogd}} - \text{bak}_{\text{leeggewicht}}} \times 100$$

Waarbij:

$\text{bak}_{\text{gedroogd}}$ = gewicht bak + 'droog' monster (na 24 drogen in droogstoof bij 105 °C)

$\text{bak}_{\text{ongedroogd}}$ = gewicht bak + 'vers' monster

$\text{bak}_{\text{leeggewicht}}$ = gewicht lege bak waarin het monster werd gedroogd

2.3.10 Ventilatie-debiet van stal en mestdroogstelsysteem

Het totale ventilatie-debiet (V ; m³/uur per dier, gemiddelde over de meetperiode van 24 uur; van de stal-/bypassventilatoren en droogtunnelventilatoren tezamen) is bepaald met behulp van de CO₂-massabalansmethode. Bij deze methode wordt de gemiddelde CO₂-concentratie van de buitenlucht die de stal in stroomt en de stallucht die de stal verlaat (respectievelijk $[\text{CO}_2]_{\text{buiten}}$ en $[\text{CO}_2]_{\text{stal}}$; ppm) gedurende 24 uur gemeten en de CO₂-productie van de dieren (m³ CO₂/uur per dier) in de stal berekend aan de hand van CIGR rekenregels voor leghennen (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008). Deze berekening van de CO₂-productie van de leghennen vindt plaats op basis van het gemiddelde hengewicht (kg) en de eiproductie (kg ei/hen per dag op basis van het aantal hennen, het aantal eieren per dag en het gemiddelde eigewicht). Het ventilatie-debiet V_{totaal} (m³/uur per dier) wordt dan bepaald op basis van de volgende formule:

$$V_{\text{totaal}} = \frac{\text{CO}_2 - \text{productie}}{([\text{CO}_2]_{\text{stal}} - [\text{CO}_2]_{\text{buiten}}) * 10^{-6}}$$

Dit totale 24-uursgemiddelde debiet van stalventilatoren en droogtunnelventilatoren tezamen werd zo accuraat mogelijk gesplitst in een 24-uursgemiddeld ventilatie-debiet voor de stal (V_{stal}) en een 24-uursgemiddeld ventilatie-debiet voor de droogtunnel ($V_{\text{droogtunnel}}$). De splitsing vond plaats in vijf rekenstappen.

Stap 1

Eerst werd het ventilatie-debiet bepaald dat direct vanuit de stal is uitgeworpen gedurende de tijdsduur dat de droogtunnel in beweging was (het vullen, doorlopen en uitstorten van mest). Deze tijdsduur bedroeg 5 uren per dag voor locatie 1 (van 06:00 tot 08:15 en van 18:00 tot 20:15) en 48 minuten per dag voor locatie 2 (acht maal per dag gedurende ca. zes minuten). Gedurende deze periode werd de droogventilatie gereduceerd tot 10% voor bedrijf 2 en tot nul voor bedrijf 1. De stalventilatoren namen gedurende deze periode de ventilatie over. De berekening van dit bypass-debiet in de perioden van het draaien van de droogtunnels ($V_{\text{bypass_draaiperiodes}}$; m³/uur per hen) kan dan als volgt worden weergegeven:

$$V_{\text{bypass_draaiperiodes}} = \left[1 - \frac{\% \text{ terugschakelingsniveau droogventilatie}}{100} \right] * \frac{\# \text{ uren draaien}}{24} * V_{\text{totaal}}$$

Stap 2

Vervolgens is het ventilatie-debiet bepaald dat buiten deze 'draaiperiodes' om - d.w.z. tijdens het drogen - is geventileerd. Deze periode bedroeg 19:00 uren voor locatie 1 en 23:12 uren voor locatie 2). Dit ventilatie-debiet bestond uit: a) een deel droogtunneldebiet benodigd voor droging van de mest, en eventueel: b) een deel extra bypass-debiet door de stalventilatoren voor die perioden waarop de totale ventilatiebehoefte de maximale ventilatiecapaciteit van de droogtunnel overschreed. De berekening van het ventilatie-debiet tijdens droogperiodes (V_{drogen} ; m³/uur per hen) kan als volgt worden weergegeven:

$$V_{\text{droogperiodes}} = V_{\text{totaal}} - V_{\text{bypass_draaiperiode}}$$

Stap 3

Vervolgens is bepaald hoeveel ventilatielucht er maximaal door de droogtunnel kon worden geventileerd tijdens deze droogperiodes ($V_{\text{droging_max}}$; m³/uur per hen), volgens onderstaande formule:

$$V_{\text{droging_max}} = \frac{\#_uren_drogen}{24} * \frac{\#_droogventilatoren * \text{max_ventilatiecapaciteit}}{\#hennen}$$

Op locatie 1 waren 4 droogventilatoren aanwezig (Stienen, type SGS-92-D4S, max. 28.931 m³/uur). Voor locatie 1 geldt dat tijdens metingen 1, 2, 3 en 5 drie ventilatoren ingeschakeld waren. Tijdens meting 4 was een vierde ventilator bijgeschakeld. De ventilatoren werden tot 100% van hun capaciteit belast. De totale maximale ventilatiecapaciteit bedroeg daarmee 85.173 m³/uur (1,4 m³/uur per hen) voor metingen 1, 2, 3 en 5, en 113.564 m³/uur (1,9 m³/uur per hen) voor meting 5. Rekening houdend met een droogtijd van 19 uren per dag, bedroeg de daadwerkelijke maximale droogventilatiecapaciteit uitgedrukt op 24-uursgemiddelde basis 67.428 m³/uur (1,1 m³/uur per hen) voor metingen 1, 2, 3 en 5, en 89.905 m³/uur (1,5 m³/uur per hen) voor meting 4. De droogventilatoren op locatie 1 schakelden terug in debiet (onder de 1,4 m³/uur per hen) bij zeer lage buitentemperaturen. Tijdens de metingen zijn de gemiddelde temperaturen boven de 5 °C gebleven en is er geen nachtvorst opgetreden. Daarnaast laten de tijdsgrafieken van de overdruk in de drukkamer een vrij vlak patroon zien (Bijlage E). Voor locatie 1 is er daarom vanuit gegaan dat tijdens de droogperiodes van alle vijf metingen de maximale capaciteit van de droogventilatoren (1,4 of 1,9 m³/uur per hen) is ingezet.

Op locatie 2 waren 7 droogventilatoren aanwezig (Stienen, max. 25.800 m³/uur). Voor locatie 2 geldt dat de 7 droogventilatoren elk tot maximaal 90% van hun capaciteit worden belast. De totale maximale ventilatiecapaciteit bedroeg daarmee 179.550 m³/uur (2,6 m³/uur per hen). Rekening houdend met een droogtijd van 23:12 uren per dag, bedroeg de daadwerkelijke maximale droogventilatiecapaciteit uitgedrukt op 24-uursgemiddelde basis 174.164 m³/uur (2,6 m³/uur per hen). Bij buitentemperaturen van ca. 10 °C en hoger wordt deze droogventilatie maximaal ingezet. Tussen 10 en 5 °C neemt het droogdebiet af tot ca. 1,5 m³/uur per hen. Dit ventilatiepatroon is weergegeven in Bijlage B. Alleen bij zeer koude buitentemperaturen in de nacht (beneden -5 °C), wanneer de dieren zelf ook weinig warmte produceren, neemt het droogdebiet nog verder af om een staltemperatuur van ca. 17 °C te kunnen handhaven. Ook in de tijdsgrafieken van de overdruk in de drukkamer (Bijlage E) is een sinusvormige dag/nacht curve te zien. Rekening houdend met dit ventilatiepatroon, en met de maximale (middag)temperatuur en de minimale (ochtend)temperatuur tijdens de meetdagen (Tabel 1) is per meetdag het maximale droogdebiet berekend.

Stap 4

Wanneer $V_{\text{droogperiodes}}$ kleiner dan of gelijk is aan $V_{\text{droging_max}}$ is het gehele ventilatiedebiet $V_{\text{droogperiodes}}$ gerealiseerd als droogventilatie. Wanneer $V_{\text{droogperiodes}}$ groter is dan $V_{\text{droging_max}}$, dan is er extra bypassventilatie geweest gedurende de droogperiodes. Deze ventilatie is te bepalen als:

$$V_{\text{bypass_droogperiodes}} = V_{\text{droogperiodes}} - V_{\text{droging_max}}$$

Stap 5

De splitsing van het totale 24-uursgemiddelde debiet van stalventilatoren en droogtunnelventilatoren tezamen (V_{totaal}) in een ventilatiedebiet voor de stal (V_{stal}) en een ventilatiedebiet voor de droogtunnel ($V_{\text{droogtunnel}}$) werd nu als volgt uitgevoerd:

$$V_{\text{stal}} = V_{\text{bypass_draaiperiodes}} + V_{\text{bypass_droogperiodes}}$$

$$V_{\text{droogtunnel}} = V_{\text{totaal}} - V_{\text{stal}}$$

2.4 Rekenmethoden

2.4.1 Berekening emissies

Per meetlocatie ($k=1, 2$) en meting ($i=1, 2, \dots, 7$) werden de emissies van PM10, PM2,5, ammoniak, methaan en lachgas bepaald, zowel voor de stalventilatie ($E_{\text{stal}_{ki}}$), voor de droogventilatie ($E_{\text{droogtunnel}_{ki}}$) en voor het gehele stalsysteem ($E_{\text{totaal}_{ki}}$). De emissies werden bepaald op basis van het 24-uursgemiddelde ventilatiedebiet van stal en droogtunnel (respectievelijk $V_{\text{stal}_{ki}}$ en $V_{\text{droogtunnel}_{ki}}$; m³/uur per dier), de 24-uursgemiddelde concentraties in de stal en in de uitgaande luchtstroom van de droogtunnel (respectievelijk $C_{\text{stal}_{ki}}$ en $C_{\text{droogtunnel}_{ki}}$) en de achtergrondconcentratie in de lucht die de stal instroomt ($C_{\text{buiten}_{ki}}$). De emissies werden uitgedrukt per dierplaats m.b.v. het aantal aanwezige dieren tijdens de meting ($\text{dieren}_{\text{aanwezig}_{ki}}$) en het aantal geplaatste dieren ($\text{dieren}_{\text{geplaatst}_{ki}}$), waarna werd vermenigvuldigd met 24 uur en 365 dagen. Tot slot werd gecorrigeerd voor een leegstandsperiode (L) voor leghennen van 5% (Ogink et al., 2011; bijlage C), volgens onderstaande formules:

$$E_{\text{stal}_{ki}} = V_{\text{stal}_{ki}} * ([C_{\text{stal}_{ki}}] - [C_{\text{buiten}_{ki}}]) * \left(\frac{\text{dieren}_{\text{aanwezig}_{ki}}}{\text{dieren}_{\text{geplaatst}_{ki}}} \right) * 24 * 365 * \left(\frac{100 - L}{100} \right)$$

$$E_{\text{droogtunnel}_{ki}} = V_{\text{droogtunnel}_{ki}} * ([C_{\text{droogtunnel}_{ki}}] - [C_{\text{buiten}_{ki}}]) * \left(\frac{\text{dieren}_{\text{aanwezig}_{ki}}}{\text{dieren}_{\text{geplaatst}_{ki}}} \right) * 24 * 365 * \left(\frac{100 - L}{100} \right)$$

Daarnaast werd de 'theoretische emissie' bepaald van een 'stal met dagontmesting' alsof er geen droogtunnel aanwezig zou zijn op de meetlocaties en alsof alle ventilatielucht direct vanuit de stal zou zijn geventileerd, volgens onderstaande formule:

$$E_{\text{alleen}_{\text{stal}_{ki}}} = V_{\text{totaal}_{ki}} * ([C_{\text{stal}_{ki}}] - [C_{\text{buiten}_{ki}}]) * \left(\frac{\text{dieren}_{\text{aanwezig}_{ki}}}{\text{dieren}_{\text{geplaatst}_{ki}}} \right) * 24 * 365 * \left(\frac{100 - L}{100} \right)$$

In dit onderzoek is voor de achtergrondconcentraties in deze rekenregels gebruik gemaakt van de gemiddelde achtergrondconcentraties zoals gemeten in het emissiemeetprogramma 'Actualisering emissiefactoren fijnstof'. Deze achtergrondconcentraties bedroegen 0,056 mg/m³ PM10, 0,015 mg/m³ PM2,5, 0,13 mg/m³ NH₃, 505 ppm CO₂, 1,3 mg/m³ CH₄ en 0,6 mg/m³ N₂O.

In de boven weergegeven rekenregels zijn voor NH₃, PM10, PM2,5, CH₄ en N₂O de volgende eenheden gebruikt:

- concentraties in de lucht van stal en mestdroogstelsysteem: g/m³;
- ventilatiedebiet: m³/uur per hen;
- emissies op jaarbasis per dierplaats: kg per dierplaats per jaar voor NH₃, en g per dierplaats per jaar voor PM10, PM2,5, CH₄ en N₂O.

Op vergelijkbare wijze als hierboven beschreven werd de emissie van geur bepaald. Echter, in deze rekenmethode werd niet gecorrigeerd voor een achtergrondconcentratie en werden de emissies uitgedrukt in de tijdseenheid seconde (i.p.v. dag). Voor iedere meting werd van de geuremissie de natuurlijke logaritme (ln) berekend. De berekende ln-getallen werden gemiddeld. Dit geometrisch gemiddelde werd vervolgens weer door omzetting via de exponentiële functie op normale schaal uitgedrukt.

2.4.2 Berekening emissiereducties

Per meetlocatie ($k=1, 2$) en meting ($i=1, 2, \dots, 7$) werd de emissiereductie (ER_{ki} ; %) van het stalsysteem (stal + droogtunnel) bepaald t.o.v. de theoretische emissie alsof zou er alleen sprake zijn geweest van een stal (zonder droogtunnel), volgens de volgende formule:

$$ER_{ki} = \left(1 - \frac{E_{\text{totaal}_{ki}}}{E_{\text{alleen}_{\text{stal}_{ki}}}} \right) \times 100$$

Vervolgens werd de gemiddelde emissiereductie (ER; %) bepaald als het gemiddelde van de emissiereducties van de individuele metingen:

$$ER = \overline{ER_{ki}}$$

2.4.3 Berekening verwijderingsrendementen over de mestlaag

Per meetlocatie (k=1, 2) en meting (i=1, 2, ..., 7) werd het verwijderingsrendement (VR_{ki}; %) van de droogtunnel voor de gemeten emissiecomponenten bepaald als het relatieve verschil tussen de concentratie in de ingaande luchtstroom (C_{stal_{ki}}) en de uitgaande luchtstroom (C_{droogtunnel_{ki}}) van de droogtunnel, volgens de volgende formule:

$$VR_{ki} = \left(1 - \frac{C_{droogtunnel_{ki}}}{C_{stal_{ki}}} \right) \times 100$$

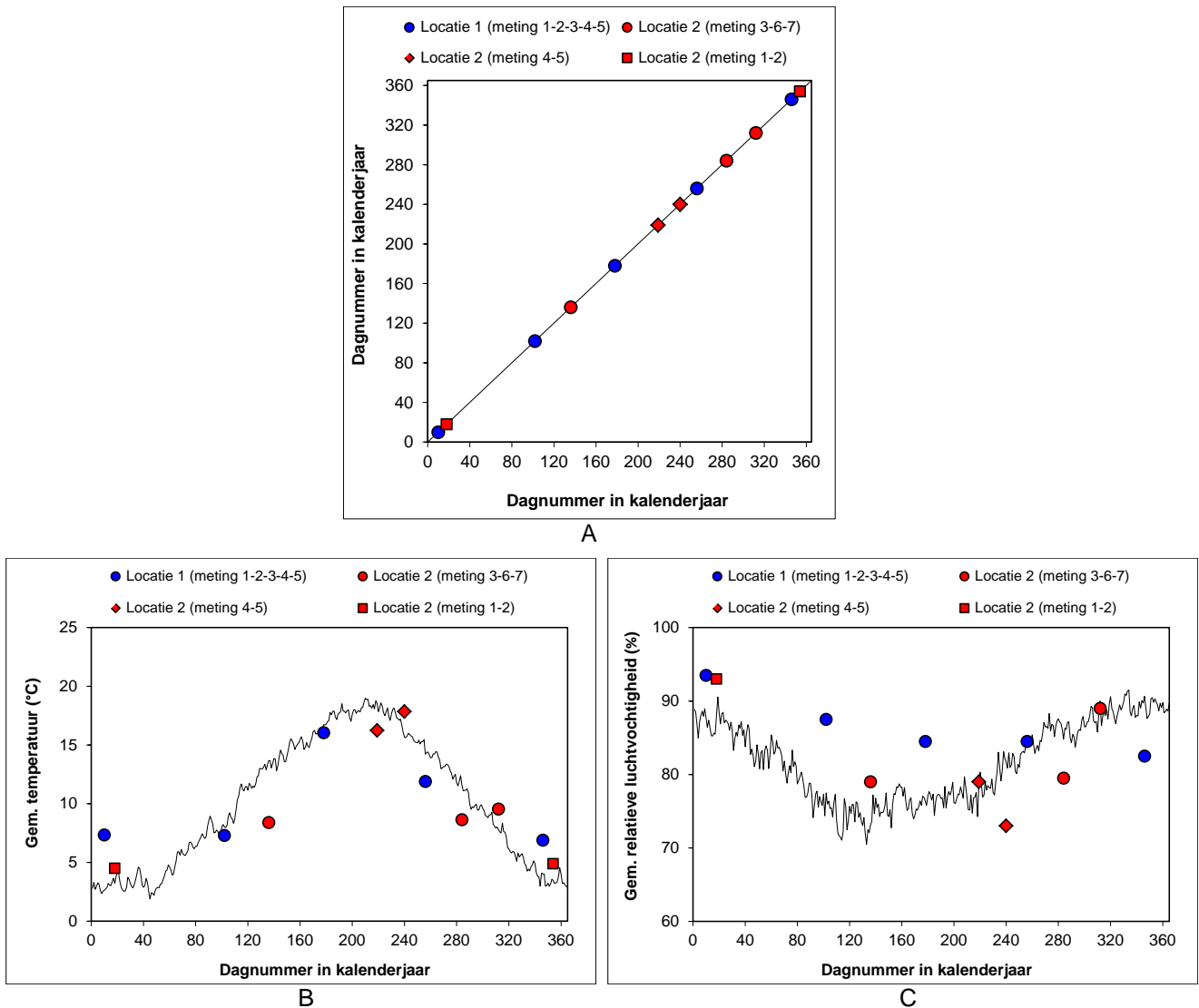
Vervolgens werd het gemiddelde verwijderingsrendement (VR; %) bepaald als het gemiddelde van de verwijderingsrendementen van de individuele metingen:

$$VR = \overline{VR_{ki}}$$

3 Resultaten

3.1 Meetomstandigheden

De van toepassing zijnde meetprotocollen voor fijnstof (Ogink et al., 2011a), ammoniak (Ogink et al., 2011b), methaan (Groenestein et al., 2011), lachgas (Mosquera et al., 2011) en geur (Ogink, 2011) schrijven voor dat voor het bepalen van een emissiefactor metingen dienen plaats te vinden op minimaal vier verschillende bedrijfslocaties. Voor het vaststellen van een verwijderingsrendement of emissiereductie van mitigatie technieken zoals luchtwassers en biofilters geldt dat volstaan kan worden met twee meetlocaties. Per meetlocatie dienen zes metingen uitgevoerd te worden, gespreid over het kalenderjaar. Minimaal 80% van alle uitgevoerde metingen (en tenminste vier metingen per locatie) moeten betrouwbare resultaten opleveren. Figuur 4 en Tabel 1 laten zien hoe de metingen werkelijk uitgevoerd zijn.



Figuur 4 Verdeling van de metingen over het jaar (A) en de buitentemperatuur (B) en relatieve luchtvochtigheid (C) op deze meetdagen vergeleken met het langjarig gemiddelde over de jaren 1981 t/m 2010 (bron: www.knmi.nl; als lijn weergegeven)

De metingen zijn uitgevoerd aan twee meetlocaties: een leghennenstal met scharrelhuisvesting (locatie 1) en een leghennenstal met volièrehuisvesting (locatie 2). Er zijn vijf metingen uitgevoerd op meetlocatie 1 en zeven metingen op meetlocatie 2, waarvan metingen 3 t/m 7 bij een door de leverancier geoptimaliseerd mestdroogstelsysteem. De resultaten van metingen 1 en 2 op meetlocatie 2 zijn niet meegenomen in de berekening van de in dit hoofdstuk genoemde concentraties,

verwijderingsrendementen, emissies of emissiereducties. De metingen zijn uitgevoerd tussen december 2011 en november 2012 over een periode van 332 dagen. Het gemiddelde dagnummer in het kalenderjaar bedroeg 208 (doel: ca. 183 dagen). De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten (11,0 °C) komt goed overeen met het langjarige gemiddelde in Nederland (10,2 °C). De gemiddelde relatieve luchtvochtigheid op de dagen waarop is gemeten (83,2%) is enigszins hoger dan het langjarige gemiddelde (81,8%). De technische kengetallen van de hennen vertoonden een normaal patroon gedurende de meetperiode (Tabel 1).

Tabel 1 Data waarop de metingen zijn uitgevoerd met het dagnummer in het jaar, het moment in de productiecyclus (dag na opzet), de technische resultaten van de hennen en de klimaatomstandigheden tijdens de metingen

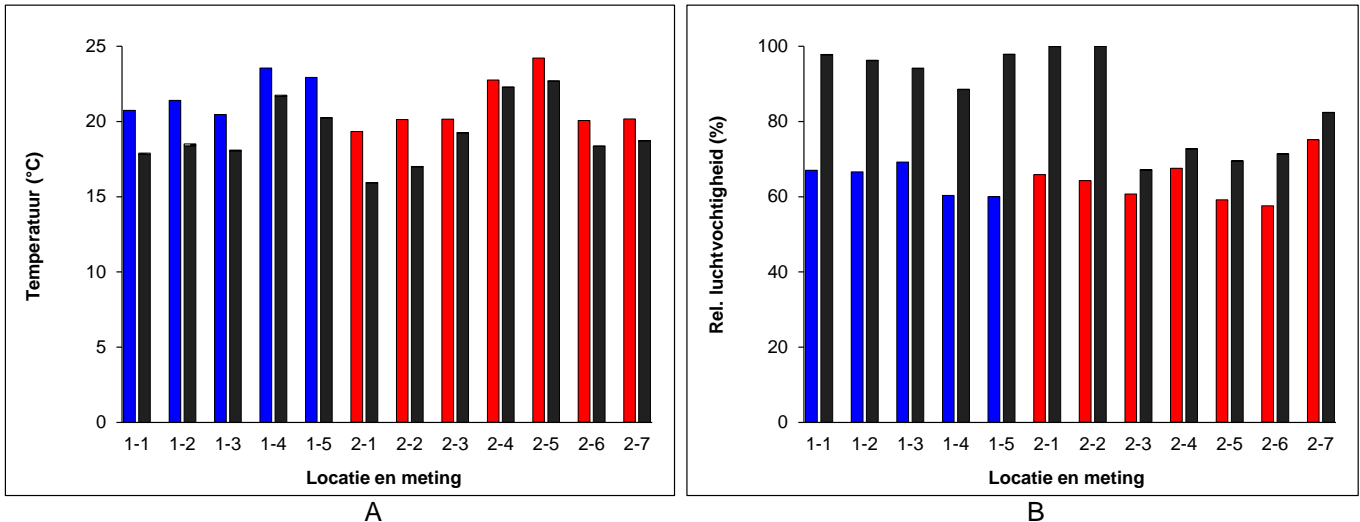
Locatie	Kenmerk	Meting							
		1	2	3	4	5	6	7	
1	Datum	12-12-11	10-01-12	11-04-12	26-06-12	12-09-12			
	Dag in kalenderjaar	346	10	102	178	256			
	Leeftijd (weken)	39,6	43,7	56,9	67,7	78,9			
	Dag na opzet	157	186	278	354	432			
	Aantal kippen aanwezig	60475	60258	59720	59180	58170			
	Gem. hengewicht (kg)	1,76	1,76	1,77	1,77	1,77			
	Legpercentage (%)	96,2	96,5	94,0	93,3	85,1			
	Gem. eigewicht (g)	59,2	60,7	62,9	64,4	66,0			
	Cumulatieve uitval (%)	1,2	1,5	2,4	3,3	5,0			
	T _{max} Buiten (dag 1; °C)	7,7	8,4	11,9	20,8	16,4			
	T _{min} Buiten (dag 2; °C)	5,5	6,4	2,4	13,8	8,1			
	T _{gem} Buiten (°C)	6,9	7,4	7,3	16,1	11,9			
	RV _{gem} Buiten (%)	82,5	93,5	87,5	84,5	84,5			
	T _{gem} voor droogtunnel (°C)	20,7	21,4	20,5	23,6	22,9			
	RV _{gem} voor droogtunnel (%)	67,0	66,6	69,2	60,3	60,0			
	Druk _{gem} in drukkamer (Pa)	¹⁾	¹⁾	¹⁾	19,3	16,4			
	T _{gem} na droogtunnel (°C)	17,8	18,4	18,0	21,7	20,2			
	RV _{gem} na droogtunnel (%)	97,7	96,2	94,1	88,5	97,8			
	2	Datum	20-12-11	18-01-12	15-05-12	06-08-12	27-08-12	10-10-12	07-11-12
		Dag in kalenderjaar	354	18	136	219	240	284	312
Leeftijd (weken)		²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	
Dag na opzet		²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	
Aantal kippen aanwezig		68391	68271	66839	68378	68094	67497	67084	
Gem. hengewicht (kg)		1,85	1,86	1,89	1,81	1,81	1,85	1,87	
Legpercentage (%)		92,0	91,1	83,5	91,3	89,5	88,3	86,2	
Gem. eigewicht (g)		61,3	61,9	63,6	59,9	60,6	62,1	62,7	
Cumulatieve uitval (%)		²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	²⁾	
T _{max} Buiten (dag 1; °C)		7,6	5,5	12,6	20,8	23,3	14,0	10,4	
T _{min} Buiten (dag 2; °C)		3,3	3,8	3,2	12,0	12,6	4,5	8,0	
T _{gem} Buiten (°C)		4,9	4,5	8,4	16,25	17,9	8,7	9,6	
RV _{gem} Buiten (%)		93,0	93,0	79,0	79,0	73,0	79,5	89,0	
T _{gem} voor droogtunnel (°C)		19,3	20,1	20,2	22,8	24,2	20,1	20,2	
RV _{gem} voor droogtunnel (%)		65,9	64,3	60,7	67,5	59,1	57,6	75,2	
Druk _{gem} in drukkamer (Pa)		¹⁾	¹⁾	46,6	¹⁾	22,2	24,5	39,5	
T _{gem} na droogtunnel (°C)		15,9	17,0	19,2	22,3	22,7	18,3	18,7	
RV _{gem} na droogtunnel (%)		99,9	100,0	67,1	72,7	69,5	71,3	82,4	

¹⁾ Niet gemeten

²⁾ Niet weergegeven: op locatie 2 is sprake van een droogtunnel nageschakeld aan vier stallen met verschillende leeftijden van de hennen

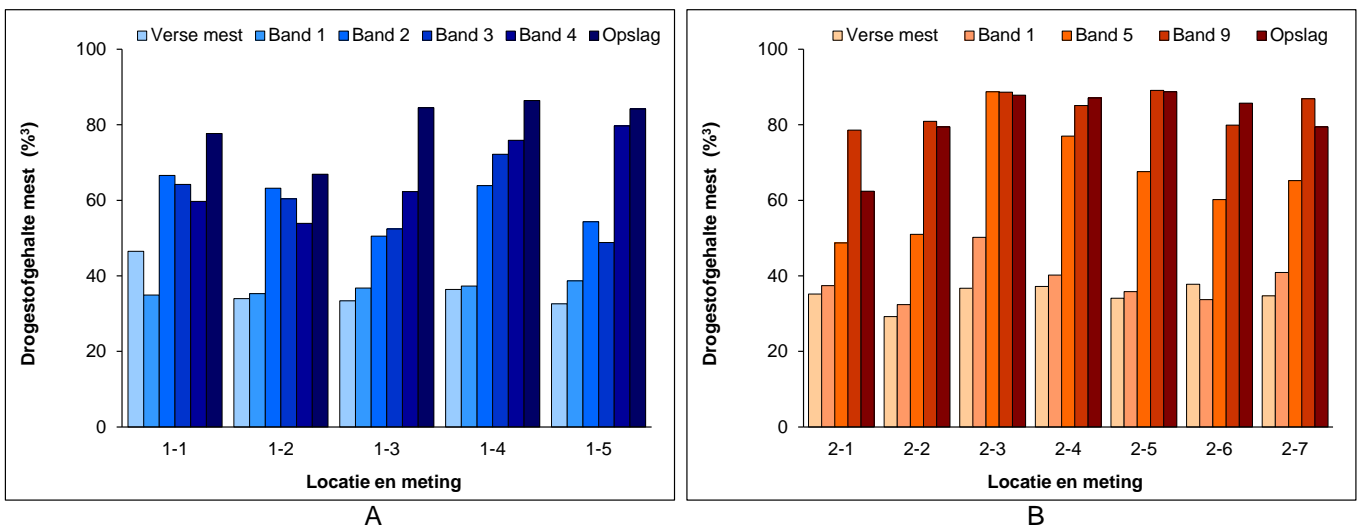
3.2 Luchttemperatuur, luchtvochtigheid en drogestofgehaltes mest

In Figuur 5 en Bijlagen C en D worden per meting de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid weergegeven, zowel van de ingaande als uitgaande luchtstroom van de droogtunnels. Uit de figuren blijkt dat de luchtvochtigheid toenam en de temperatuur afnam bij het passeren van de mestlaag. Dit beeld weerspiegelt de verdamping van water uit de mest, hetgeen warmte-energie kost welke aan de mest en drooglucht wordt onttrokken.



Figuur 5 A: 24-uursgemiddelde temperatuur vóór de droogtunnel (stal/drukkamer; blauwe staven voor locatie 1 en rode staven voor locatie 2) en ná de droogtunnel (zwarte staven), per meting. B: idem, voor de relatieve luchtvochtigheid

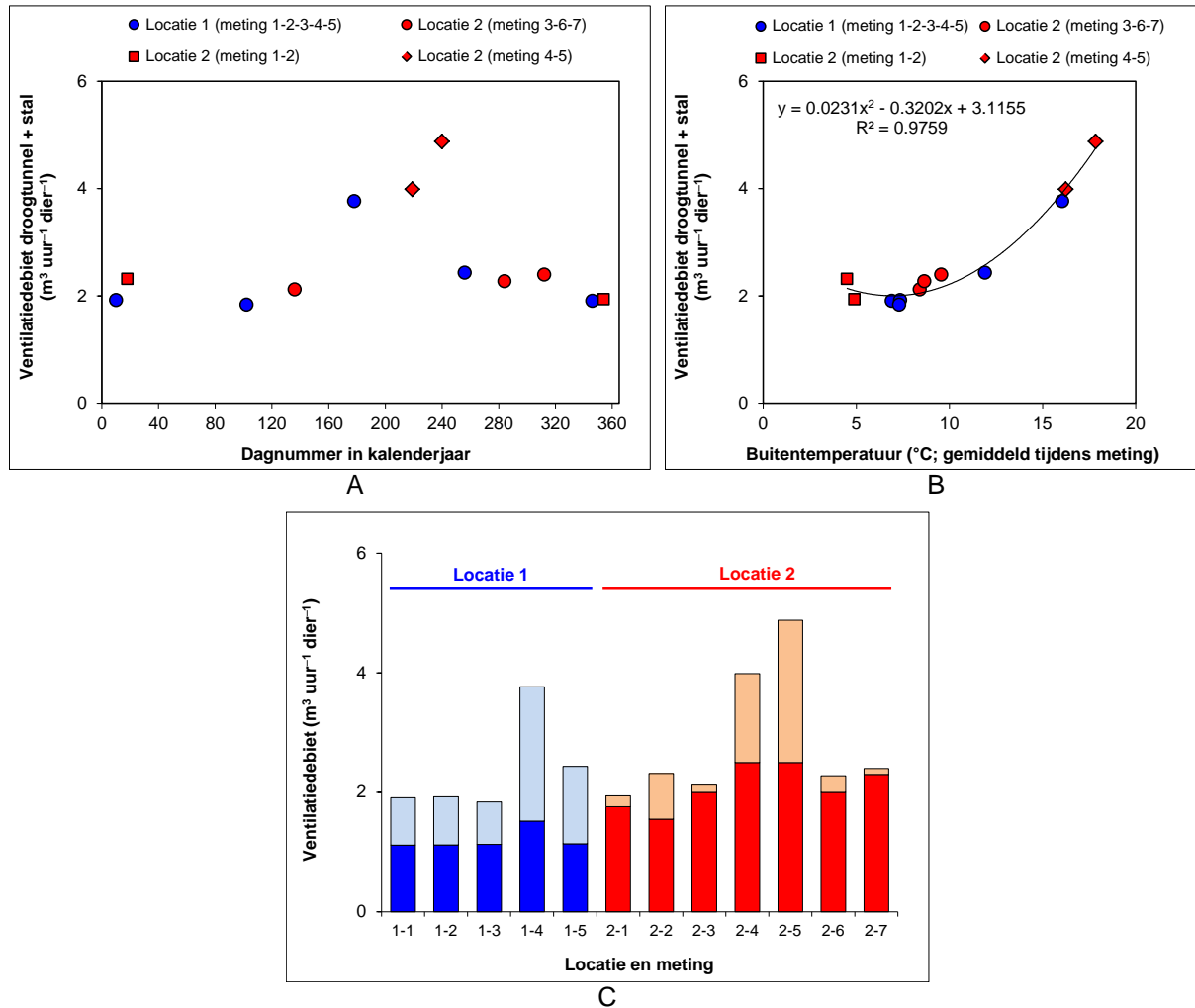
In Figuur 6 worden per meting de drogestofgehaltes van de mest weergegeven. Op bedrijf 1 valt op dat uit de mest op het eerste droogniveau na ca. 2 tot 6 uren drogen nog nauwelijks water is verdampt. Het gemiddelde drogestofgehalte van band 1 over alle metingen bedroeg 37%. Daarna droogde de mest echter snel in: het drogestofgehalte van de mest op het tweede droogniveau bedroeg na 14 tot 18 uren drogen gemiddeld reeds 60% (range: 51–67%). Op bedrijf 2 valt op dat de droging na aanpassingen van de droogtunnel (zie par. 2.2) vanaf meting 2-3 aanzienlijk sneller verliep. Halverwege de droogtunnel (band 5 van 9; na ca. 27 uur drogen) bereikte de mest een drogestofgehalte van gemiddeld 65% (range: 49–89%). Geconcludeerd kan worden dat op beide bedrijven een snelle indroging is bereikt.



Figuur 6 Drogestofgehaltes van de verse mest (aanvoerband tussen stal en droogtunnel), van de droogmest in het systeem en van de gedroogde mest in de opslag, per meting, voor locatie 1 (A) en locatie 2 (B)

3.3 Ventilatie-debiet

In Figuur 7 wordt per locatie en meting het ventilatie-debiet weergegeven. In Bijlagen E en F worden ook de CO₂-concentraties weergegeven op grond waarvan deze debieten zijn bepaald.

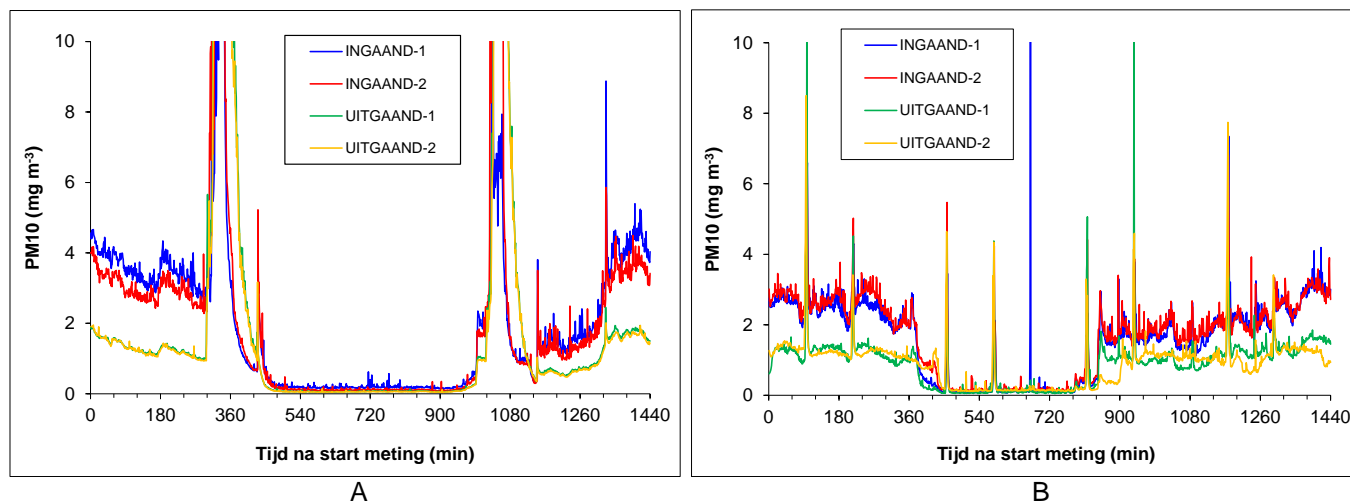


Figuur 7 Het 24-uursgemiddelde ventilatie-debiet (van droogventilatoren en stalventilatoren samen) per meting, als functie van het dagnummer in kalenderjaar (A) en de gemiddelde buitentemperatuur (B). In figuur C zijn de ventilatie-debieten weergegeven per locatie en meting, uitgesplitst in het debiet door de droogtunnel (donkere staven) en de bypassventilatie vanuit de stal (lichtere staven)

Uit Figuur 7A blijkt dat de debieten laag waren aan het begin en einde van het kalenderjaar (lage buitentemperaturen; minimumventilatie rond 2 m³/uur per hen) en hoger in het midden van het kalenderjaar (hogere buitentemperaturen). Uit Figuur 7B blijkt dat de ventilatie-debieten (van droogtunnel en stal samen) toenamen met de 24-uursgemiddelde buitentemperatuur tijdens de meting, en dit volgens een zeer consistente trend. In Figuur 7C is te zien dat voor beide locaties geldt dat altijd enige bypassventilatie vanuit de stal bestond, ook op 'koudere' meetdagen. Dit betreft de momenten dat de droogtunnel in beweging is en de droogventilatie wordt overgenomen door de stalventilatie. Tijdens meting 4 op locatie 1 was het droogdebiet hoger dan tijdens de overige metingen; tijdens deze meting was de vierde droogventilator ook in werking om in de hogere ventilatiebehoefte te kunnen voorzien. Uit bijlagen F en G blijkt dat tijdens geen van de metingen de CO₂-concentratie in de stal de landbouwkundige randvoorwaarde van 3000 ppm, zoals genoemd in de meetprotocollen, overschreed. Verder blijkt dat de CO₂-concentraties van de uitgaande luchtstroom van de droogtunnels zeer vergelijkbaar waren met die in de drukkamer, hetgeen betekent dat aan de uitstroomzijde geen (ongewenste) opmenging heeft plaatsgevonden van buitenlucht en drooglucht.

3.4 Concentraties, emissies en reducties van PM10

In Figuur 8 wordt voor beide meetlocaties een voorbeeld gegeven van het 24-uursverloop in de PM10 concentraties, zowel van de ingaande als uitgaande luchtstroom van de droogtunnels.



Figuur 8 Minuutconcentraties van PM10 vóór de droogtunnel (gemeten met DustTraks in duplo; blauwe en rode lijn) en ná de droogtunnel (eveneens in duplo; groene en gele lijn), voor een meting op locatie 1 (A) en locatie 2 (B)

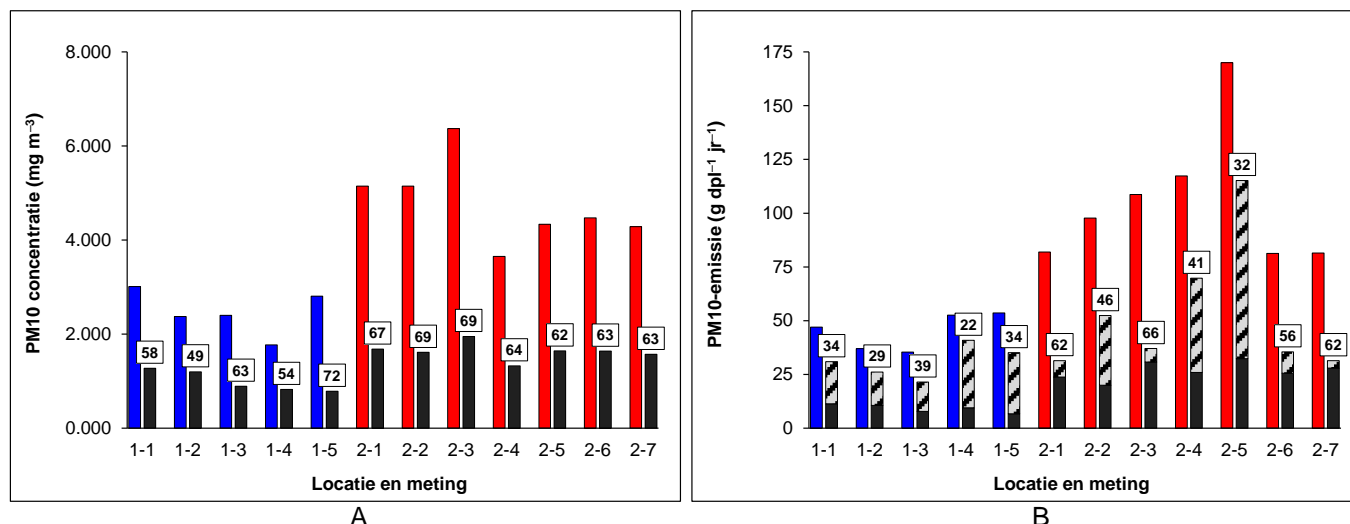
In Figuur 8A (locatie 1) zijn de twee dagelijkse perioden waarin de droogtunnel draait (vullen, doorlopen en uitstorten; 18:00–20:15 en 06:00–20:15 uur) duidelijk zichtbaar als hoge pieken in de PM10 concentratie. De Y-as van Figuur 8A is gemaximaliseerd op 10 mg/m³, maar de pieken lopen op tot tientallen milligrammen per kubieke meter. De hoogst gemeten piek in dit onderzoek bedroeg 138 mg/m³ (DustTrak concentratie gecorrigeerd naar gravimetrische concentratie). De pieken op locatie 1 zijn waarschijnlijk zo hoog omdat de droge mest hier vanaf ca. 3,5 m hoogte op de vloer van de droogloods wordt gestort (zie foto's in Bijlage A). Benadrukt moet worden dat tijdens het draaien van de droogtunnels de droogventilatie werd overgenomen door de stalventilatie en de luchtuitstroomopening van de loods werd afgesloten met een gordijn om piekemissies te voorkomen.

In Figuur 8B (locatie 2) zijn acht kortdurende pieken in de PM10 concentratie te zien, verspreid over de dag. Duidelijk is dat de pieken op locatie 2 aanzienlijk lager zijn; hier wordt de mest in een afzonderlijke loods elders op het erf op de vloer gestort. Het draaien van de droogtunnel duurde ca. zes minuten per keer. Ook op locatie 2 werd de droogventilatie gedurende deze draaiperioden bijna stilgelegd om piekemissies naar de buitenlucht te voorkomen.

Op beide locaties is te zien dat de PM10 concentratie in de uitgaande luchtstroom van de droogtunnel aanzienlijk lager is dan de ingaande luchtstroom (drukkamer). Dit beeld weerspiegelt de afvang van stof in de mestlaag van de droogtunnel gedurende de perioden dat de droogventilatie in werking is.

Op beide locaties is verder een periode te zien waarin de PM10 concentratie scherp daalt, gedurende ca. 8 uren laag is om daarna scherp te stijgen. Dit 'dal' in de concentratie weerspiegelt de nachtelijke periode wanneer de verlichting in de stal uit is en de hennen niet actief zijn.

In Figuur 9 worden, per locatie en meting, de concentraties, verwijderingsrendementen, emissies en emissiereducties van PM10 weergegeven.



Figuur 9 A: 24-uursgemiddelde concentraties van PM10 vóór de droogtunnel (stal/drukkamer; blauwe staven voor locatie 1 en rode staven voor locatie 2) en ná de droogtunnel (zwarte staven). Op de zwarte staven wordt het procentuele verwijderingsrendement voor PM10 over de mestlaag weergegeven. B: PM10 emissie in de (theoretische) situatie waarbij er geen mestdroogsysteem zou zijn en alle ventilatielucht vanuit de stal zou worden uitgeworpen (blauwe staven voor locatie 1; rode staven voor locatie 2) en de PM10 emissie in de werkelijke situatie (zwarte staven: emissie via de droogventilatie, gestreepte staven: emissie via de bypassventilatie uit de stal). Op deze staven wordt de procentuele emissiereductie van PM10 voor de werkelijke situatie weergegeven t.o.v. de (theoretische) situatie waarbij er geen mestdroogsysteem zou zijn

Uit Figuur 9A blijkt dat de PM10 concentratie in de drooglucht sterk werd verlaagd bij het passeren van de mestlaag. Het gemiddelde verwijderingsrendement (\pm standaardafwijking tussen metingen) bedroeg $59,1 \pm 8,8\%$ voor locatie 1 en $64,4 \pm 2,9\%$ voor locatie 2 (metingen 2-3 t/m 2-7). Met name op locatie 2 lagen de verwijderingsrendementen in een zeer stabiele range tussen 62 en 69%. Uit de figuur blijkt dat het optimaliseren van de droging van de droogtunnel op locatie 2 (voorafgaand aan meting 2-3) geen wezenlijk effect heeft gehad op het verwijderingsrendement van deze droogtunnel voor PM10. De in dit onderzoek gevonden verwijderingsrendementen voor PM10 komen goed overeen met de range van waarden gevonden in eerder onderzoek (Winkel et al., 2011).

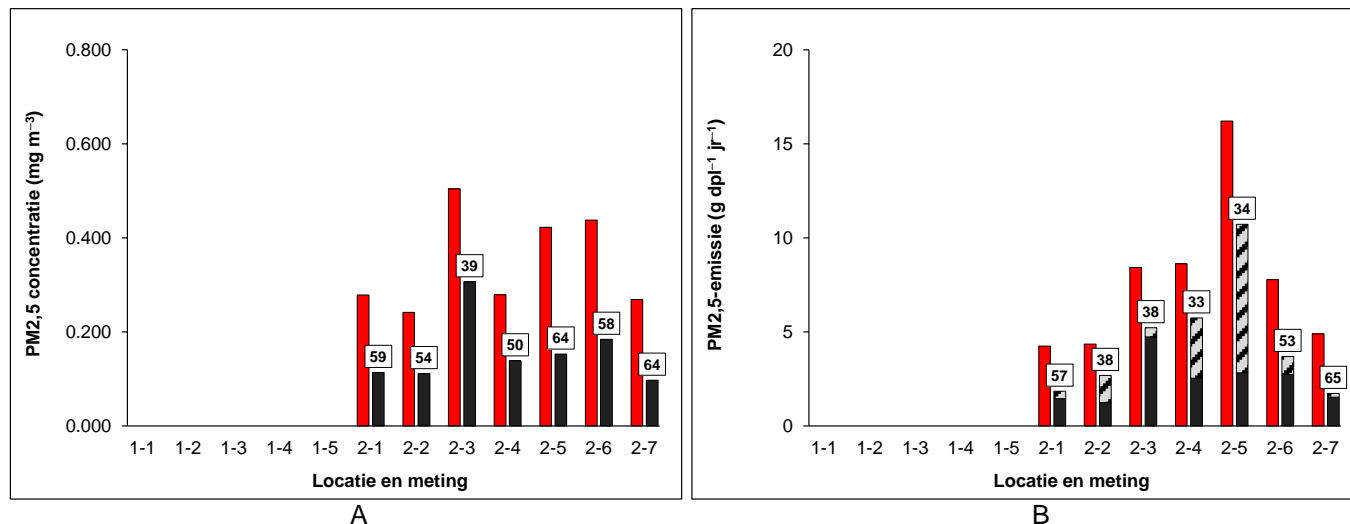
Op stalniveau (droogventilatie + stalventilatie; Figuur 9B) bedroegen de emissiereducties voor PM10 gemiddeld (\pm standaardafwijking tussen metingen) $32,0 \pm 6,5\%$ voor locatie 1 en $51,3 \pm 14,3\%$ voor locatie 2. De emissiereductie op locatie 2 is vermoedelijk vooral hoger omdat op dit bedrijf een groter deel van de ventilatiebehoefte wordt gerealiseerd d.m.v. droogventilatoren (tot $2,6 \text{ m}^3/\text{uur}$ per hen voor locatie 2 versus $1,1\text{--}1,4$ voor locatie 1), zodat het stofreducerend effect van de droogtunnel op een groter deel van de totale ventilatie wordt toegepast.

De gemiddelde PM10 emissie (\pm standaardafwijking tussen metingen) voor de 'theoretische situatie' van een leghennenstal met dagontmesting zonder droogtunnel bedroeg $45,1 \pm 8,5$ g/dierplaats per jaar voor locatie 1 (emissiefactor: 84) en $111,7 \pm 36,4$ g/dierplaats per jaar voor locatie 2 (emissiefactor: 65). Door toepassing van de droogtunnel bedroegen de PM10 emissies in de werkelijke situatie $30,9 \pm 7,6$ g/dierplaats per jaar voor locatie 1 en $57,7 \pm 35,6$ g/dierplaats per jaar voor locatie 2.

De PM10 concentraties van de ingaande en uitgaande luchtstroom van de beide droogtunnels en de emissies van PM10 voor de stallen en droogtunnels zijn per locatie en meting opgenomen in Bijlagen F en G.

3.5 Concentraties, emissies en reducties van PM2,5

In Figuur 10 worden de concentraties, verwijderingsrendementen, emissies en emissiereducties van PM2,5 voor de metingen op locatie 2 weergegeven. Op locatie 1 konden geen metingen van PM2,5 worden uitgevoerd (zie par. 2.3.1 en 2.3.2).



Figuur 10 A: concentraties van PM2,5 vóór de droogtunnel (stal/drukkamer; alleen locatie 2; rode staven) en ná de droogtunnel (zwarte staven). Op de zwarte staven wordt het procentuele verwijderingsrendement voor PM2,5 over de mestlaag weergegeven. B: PM2,5 emissie in de (theoretische) situatie waarbij er geen mestdroogsysteem zou zijn en alle ventilatielucht vanuit de stal zou worden uitgeworpen (rode staven; alleen locatie 2) en de PM2,5 emissie in de werkelijke situatie (zwarte staven: emissie via de droogventilatie, gestreepte staven: emissie via de bypassventilatie uit de stal). Op deze staven wordt de procentuele emissiereductie van PM2,5 voor de werkelijke situatie weergegeven t.o.v. de (theoretische) situatie waarbij er geen mestdroogsysteem zou zijn

Uit Figuur 10A blijkt dat ook de PM2,5 concentratie in de drooglucht sterk werd verlaagd bij het passeren van de mestlaag. Het gemiddelde verwijderingsrendement voor locatie 2 (\pm standaardafwijking tussen metingen) bedroeg $55,0 \pm 10,4\%$ (metingen 2-3 t/m 2-7). De verwijderingsrendementen lagen in een vrij stabiele range tussen 39 en 64%. Ook voor PM2,5 geldt dat het optimaliseren van de droging van de droogtunnel op locatie 2 (voorafgaand aan meting 2-3) geen wezenlijk effect heeft gehad op het verwijderingsrendement van deze droogtunnel voor PM2,5. De in dit onderzoek gevonden verwijderingsrendementen voor PM2,5 komen goed overeen met de range van waarden gevonden in eerder onderzoek (Winkel et al., 2011).

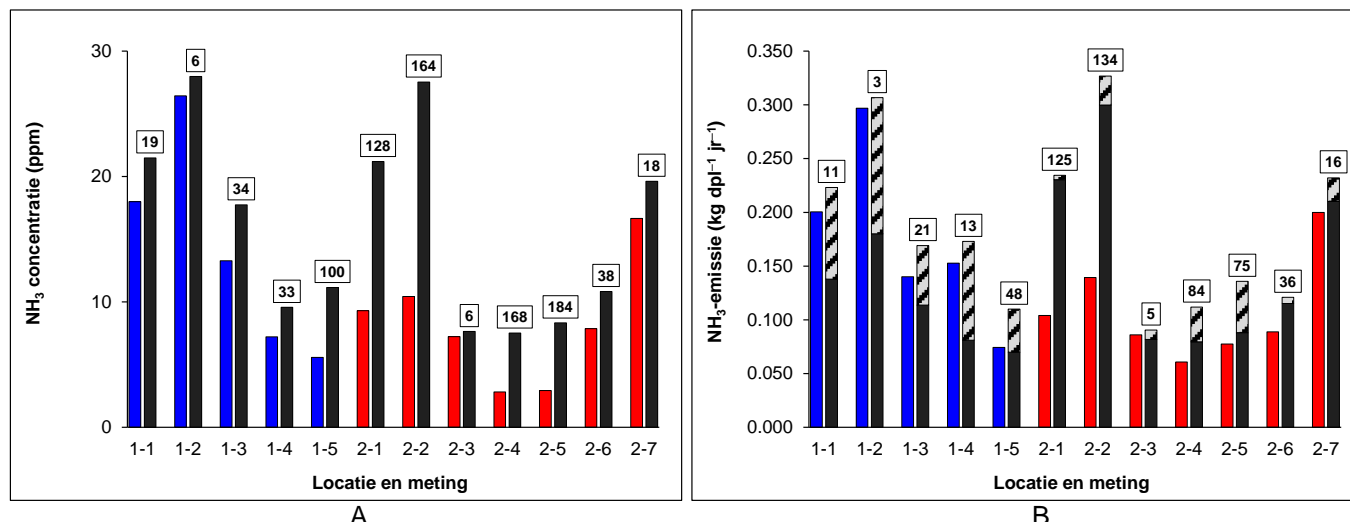
Op stalniveau (droogventilatie + stalventilatie; Figuur 10B) bedroeg de emissiereductie voor PM2,5 op locatie 2 gemiddeld (\pm standaardafwijking tussen metingen) $44,5 \pm 13,7\%$.

De gemiddelde PM2,5 emissie (\pm standaardafwijking tussen metingen) voor de 'theoretische situatie' van een leghennenstal met dagontmesting zonder droogtunnel bedroeg $9,2 \pm 4,2$ g/dierplaats per jaar voor locatie 2. Dit is hoger dan de gemiddelde PM2,5 emissie van vier volièrestallen voor leghennen ($3,9 \pm 0,8$ g/dierplaats per jaar), zoals gerapporteerd door Winkel et al. (2009). Door toepassing van de droogtunnel op locatie 2 bedroeg de PM2,5 emissie in de werkelijke situatie $5,4 \pm 3,3$ g/dierplaats per jaar.

De PM2,5 concentraties van de ingaande en uitgaande luchtstroom van de droogtunnel op locatie 2 en de emissies van PM2,5 voor de stallen en droogtunnel zijn per meting opgenomen in Bijlage G.

3.6 Concentraties en emissies van ammoniak

In Figuur 11 worden, per locatie en meting, de concentraties, concentratietoenames, emissies en emissietoenames van ammoniak weergegeven.



Figuur 11 A: concentraties van ammoniak vóór de droogtunnel (stal/drukkamer; blauwe staven voor locatie 1 en rode staven voor locatie 2) en ná de droogtunnel (zwarte staven). Op de zwarte staven wordt de procentuele toename van de ammoniakconcentratie over de mestlaag weergegeven. B: ammoniakemissie in de (theoretische) situatie waarbij er geen mestdroogstelsel zou zijn en alle ventilatielucht vanuit de stal zou worden uitgeworpen (blauwe staven voor locatie 1; rode staven voor locatie 2) en de ammoniakemissie in de werkelijke situatie (zwarte staven: emissie via de droogventilatie, gestreepte staven: emissie via de bypassventilatie uit de stal). Op deze staven wordt de procentuele toename van de ammoniakemissie voor de werkelijke situatie weergegeven t.o.v. de (theoretische) situatie waarbij er geen mestdroogstelsel zou zijn

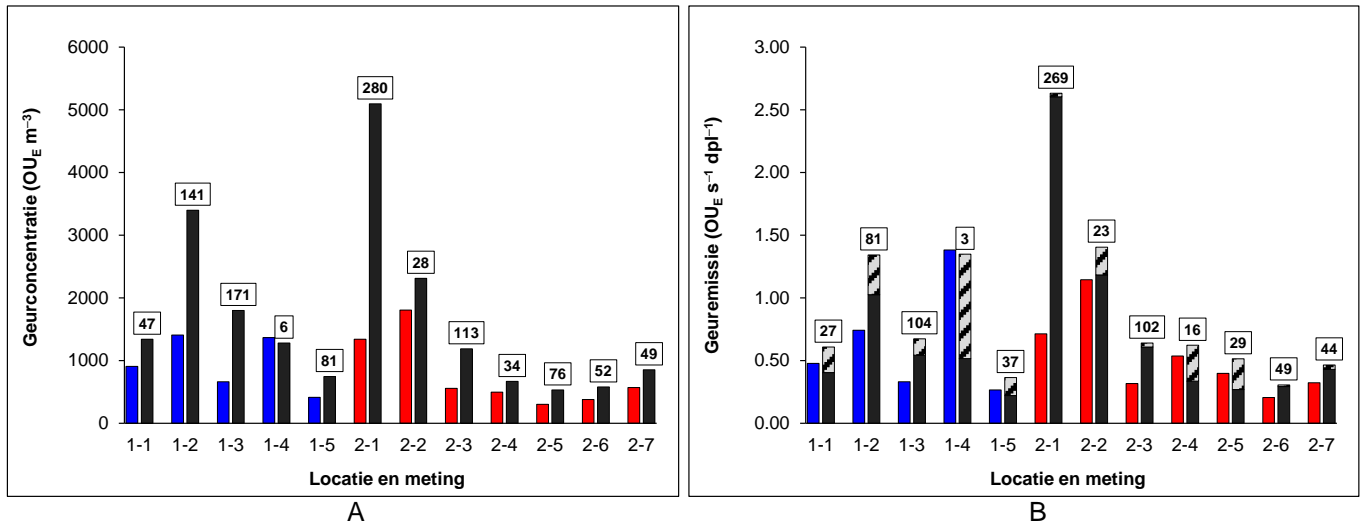
Uit Figuur 11A blijkt dat de ammoniakconcentratie in de drooglucht bij alle metingen toenam bij het passeren van de mestlaag. De gemiddelde toename voor locatie 1 (\pm standaardafwijking tussen metingen) bedroeg $3,5 \pm 1,6$ ppm of $38,3 \pm 36,3\%$. De gemiddelde toename voor locatie 2 (metingen 2-3 t/m 2-7) bedroeg $3,3 \pm 1,9$ ppm of $82,6 \pm 86,1\%$.

Op stalniveau (droogventilatie + stalventilatie; Figuur 11B) bedroegen de emissietoenames voor ammoniak gemiddeld (\pm standaardafwijking tussen metingen) $19,5 \pm 17,3\%$ voor locatie 1 en $53,8 \pm 49,1\%$ voor locatie 2. De extra ammoniakemissie is hoger voor locatie 2 omdat daar een groter deel van de totale ventilatie door de droogtunnel plaatsvindt.

De gemiddelde ammoniakemissie (\pm standaardafwijking tussen metingen) voor de 'theoretische situatie' van een leghennenstal met dagontmesting zonder droogtunnel bedroeg $0,173 \pm 0,083$ kg/dierplaats per jaar voor locatie 1 (emissiefactor: 68) en $0,110 \pm 0,066$ g/dierplaats per jaar voor locatie 2 (emissiefactor: 90). Door toepassing van de droogtunnel bedroegen de ammoniakemissies in de werkelijke situatie $0,197 \pm 0,073$ kg/dierplaats per jaar voor locatie 1 en $0,155 \pm 0,065$ g/dierplaats per jaar voor locatie 2. De gemiddelde extra ammoniakemissie vanuit de droogtunnel bedroeg $0,024 \pm 0,010$ kg/dierplaats per jaar voor locatie 1 (huidige emissiefactor: 0,002) en $0,045 \pm 0,029$ kg/dierplaats per jaar voor locatie 2 (huidige emissiefactor: 0,002). Uit Figuur 11 blijkt dat de toename van de ammoniakconcentratie en -emissie op locatie 1 vrij beperkt was; alleen de vijfde meting laat een ongunstiger beeld zien. Op locatie 2 lieten de eerste twee metingen (2-1 en 2-2) een vrij ongunstig beeld zien. Daarna is de droogtunnel geoptimaliseerd. Metingen 2-3 t/m 2-7 (en met name 2-3, 2-6 en 2-7) laten daarna een aanmerkelijk gunstiger beeld zien. Tijdens metingen 2-4 en 2-5 was de derde instroomopening (van banden 5 en 6) licht open gewerkt om de overdruk in de drukkamer iets te verlagen. Mogelijk heeft dit een ongunstig effect gehad op de droging (en ammoniakemissie) van banden 1 t/m 4. Dit is echter niet duidelijk in de drogestofgehalten van deze metingen terug te vinden (zie par. 3.2).

3.7 Concentraties en emissies van geur

In Figuur 12 worden, per locatie en meting, de concentraties, concentratietoenames/-afnames, emissies en emissietoenames/-afnames van geur weergegeven.



Figuur 12 A: geurconcentraties vóór de droogtunnel (stal/drukkamer; blauwe staven voor locatie 1 en rode staven voor locatie 2) en ná de droogtunnel (zwarte staven). Op de zwarte staven wordt de procentuele toename van de geurconcentratie over de mestlaag weergegeven. B: geuremissie in de (theoretische) situatie waarbij er geen mestdroogstelsysteem zou zijn en alle ventilatielucht vanuit de stal zou worden uitgeworpen (blauwe staven voor locatie 1; rode staven voor locatie 2) en de geuremissie in de werkelijke situatie (zwarte staven: emissie via de droogventilatie, gestreepte staven: emissie via de bypassventilatie uit de stal). Op deze staven wordt de procentuele toe- of afname van de geuremissie voor de werkelijke situatie weergegeven t.o.v. de (theoretische) situatie waarbij er geen mestdroogstelsysteem zou zijn

Uit Figuur 12A blijkt dat de geurconcentratie in de drooglucht bij 11 van de 12 metingen toenam bij het passeren van de mestlaag. De gemiddelde toename voor locatie 1 (\pm standaardafwijking tussen metingen) bedroeg 761 ± 816 OU_E/m³ of $86,9 \pm 71,4\%$. De gemiddelde toename voor locatie 2 (metingen 2-3 t/m 2-7) bedroeg 302 ± 188 OU_E/m³ of $65,0 \pm 30,9\%$.

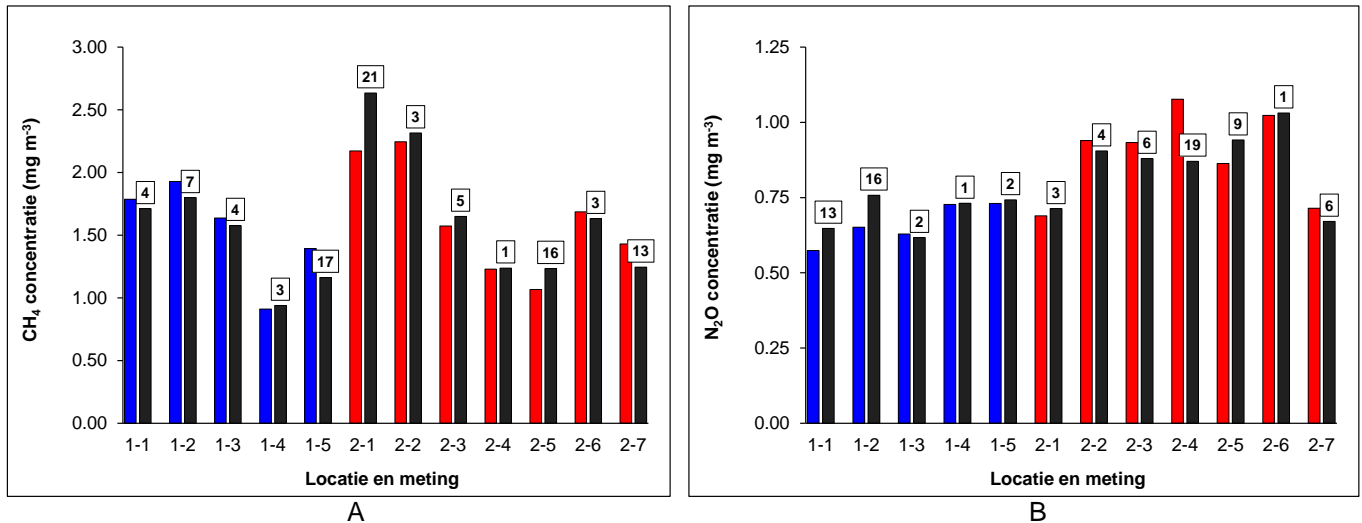
Op stalniveau (droogventilatie + stalventilatie; Figuur 12B) bedroegen de emissietoenames voor geur gemiddeld (\pm standaardafwijking tussen metingen) $50,0 \pm 43,2\%$ voor locatie 1 en $52,1 \pm 32,3\%$ voor locatie 2.

De gemiddelde geuremissie (\pm standaardafwijking tussen metingen) voor de 'theoretische situatie' van een leghennenstal met dagontmesting zonder droogtunnel bedroeg $0,53 \pm 0,45$ OU_E/dierplaats per s voor locatie 1 (emissiefactor: 0,34) en $0,36 \pm 0,11$ OU_E/dierplaats per s voor locatie 2 (emissiefactor: 0,34). Door toepassing van de droogtunnel bedroegen de geuremissies in de werkelijke situatie $0,77 \pm 0,45$ OU_E/dierplaats per s voor locatie 1 en $0,53 \pm 0,13$ OU_E/dierplaats per s voor locatie 2.

De geurconcentraties van de ingaande en uitgaande luchtstroom van de beide droogtunnels en de emissies van geur voor de stallen en droogtunnels zijn per locatie en meting opgenomen in Bijlagen F en G.

3.8 Concentraties en emissies van methaan en lachgas

In Figuur 13 worden, per locatie en meting, de concentraties en concentratietoenames/-afnames van methaan en lachgas weergegeven.



Figuur 13 A: methaanconcentraties vóór de droogtunnel (stal/drukkamer; blauwe staven voor locatie 1 en rode staven voor locatie 2) en ná de droogtunnel (zwarte staven). Op de zwarte staven wordt de procentuele toe- of afname name van de methaanconcentratie over de mestlaag weergegeven. B: idem, maar dan voor lachgas

Uit Figuur 13 blijkt dat de concentraties van methaan en lachgas zeer vergelijkbaar waren voor de ingaande en uitgaande luchtstroom van de droogtunnels. De gemiddelde toename van methaan (\pm standaardafwijking tussen metingen) bedroeg $-5,6 \pm 7,4\%$ voor locatie 1 en $1,0 \pm 10,5\%$ voor locatie 2. De gemiddelde toename van lachgas bedroeg $5,9 \pm 8,1\%$ voor locatie 1 en $-4,2 \pm 10,5\%$ voor locatie 2. Over beide locaties heen bedroegen de gemiddelde toenames $-2,3 \pm 9,2\%$ voor methaan en $0,8 \pm 10,3\%$ voor lachgas. Daarnaast is het absolute niveau van de gevonden concentraties zeer laag: op het niveau van de achtergrond die gewoonlijk wordt gemeten in de buitenlucht. Daardoor konden geen betrouwbare emissies worden bepaald.

4 Discussie

Zoals in de inleiding reeds genoemd was de aanleiding voor dit onderzoek gelegen in de uitkomsten van een eerder uitgevoerd meetprogramma voor het vaststellen van emissies uit de veehouderij, waarin onder meer de emissies uit leghennenstallen met droogtunnels zijn vastgesteld (Winkel et al., 2011). Bij dit meetprogramma waren twee meetlocaties met een droogtunnel betrokken. Locatie 1 in het betreffende onderzoek bestond uit een twee-etagestal met volièrè-inrichting, geen voordroging in de stal en nadroging d.m.v. een droogtunnel volgens Rav code E 6.4.2 (platendroger). Locatie 2 bestond uit twee stallen met kooihuisvesting, waarvan één met voordroging in de stal ($0,7 \text{ m}^3/\text{uur}$ per hen) en nadroging d.m.v. een droogtunnel volgens Rav code E 6.4.1 (bandendroger). In deze stallen werden de mestbanden tweemaal daags (locatie 1) of dagelijks (locatie 2) afgedraaid, zodanig dat de mestbanden eens per 2 (locatie 1) of 4 (locatie 2) dagen in zijn geheel waren afgedraaid naar het mestdroogstelsel. De gemiddelde verblijftijd van de mest in deze stallen bedroeg daarmee ca. 24 en 48 uur. Aan deze stallen zijn emissiemetingen uitgevoerd tussen december 2008 en januari 2009. De extra ammoniakemissie vanuit de droogtunnel (niet gecorrigeerd voor leegstand) bedroeg $0,195 \text{ kg/dierplaats}$ per jaar voor locatie 1 en $0,288 \text{ kg/dierplaats}$ per jaar voor locatie 2. In de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) zijn echter emissiefactoren opgenomen van $0,002 \text{ kg/dierplaats}$ per jaar voor beide droogsystemen. Deze emissiefactoren zijn gebaseerd op metingen aan een droogtunnel met geperforeerde banden nageschakeld aan een stal met legouderdieren in volièrehuisvesting (Huis in 't Veld et al., 1999). Deze droogtunnel werd tweewekelijks voorzien van mest uit de stal dat werd voorgedroogd bij $0,82 \text{ m}^3/\text{uur}$ per hen gedurende 17 uur per dag. In dit onderzoek werden eveneens toenames van de ammoniakconcentratie over de mestlaag gerapporteerd, echter, de extra ammoniakemissie bedroeg slechts 1,8 (winter) en 2,3 (zomer) g/dierplaats per jaar. De reden voor deze zeer lage extra emissie moet gezocht worden in het hoge drogestofgehalte van de bandenmest op het moment van afdraaien naar de droogtunnel (gemiddeld 60,1%) en in het zeer lage droogdebiet ($0,14 \text{ m}^3/\text{uur}$ per hen). In het geval van de onderzochte stallen in Winkel et al. (2011) was voordroging niet aanwezig in locatie 1 en niet in één stal van locatie 2. Daarnaast worden in de huidige generatie droogsystemen aanzienlijk hogere droogdebieten (ca. $1\text{--}4 \text{ m}^3/\text{uur}$ per hen) toegepast. Door de combinatie van deze twee factoren wordt de ammoniak vermoedelijk uit de droogmest 'gestript'.

In dit onderzoek is nu vastgesteld of de hoge ammoniakemissies zoals gevonden in Winkel et al. (2011) kunnen worden verlaagd door: a) de mest niet meer voor te drogen in de stal, b) de mest dagelijks in te brengen in het mestdroogstelsel, zodanig dat de mest maximaal 24 en gemiddeld maximaal 12 uren in de stal verblijft, en c) snel in te drogen tot ca. 55% drogestof. De achterliggende gedachte hierbij is dat het droogproces reeds wordt ingezet voordat de microbiële omzetting van urinezuur en eiwitten tot ammoniak op gang is gekomen. Deze gedachte is gestoeld op een praktijkonderzoek uit de jaren negentig aan een droogtunnel nageschakeld aan een kooistal met uitgeschakelde voordroging (Uenk et al., 1994), waarin verschillende afmestfrequenties werden getest. De uitkomsten suggereren dat de extra ammoniakemissie kon worden gereduceerd door de verblijftijd in de stal te reduceren tot minder dan 24 uur, gevolgd door een droogproces van 28 tot 40 uur.

Uit het onderhavige onderzoek blijkt allereerst dat de beoogde snelle indroging inderdaad is bereikt. Op bedrijf 1 bedroeg het drogestofgehalte van de droogmest na 14 tot 18 uren drogen gemiddeld 60%. Op bedrijf 2 bedroeg het drogestofgehalte van band 5 (na ca. 27 uur drogen) gemiddeld 65%. Dit droogresultaat werd bereikt door de verse mest in een vrij dunne laag aan te brengen (7–10 cm) en relatief meer drooglucht door de 'nattere' dan door de 'drogere' mestniveaus te sturen. Bij deze aangepaste manier van drogen werden nog steeds aantrekkelijke verwijderingsrendementen voor PM10 behaald van gemiddeld 59,1% voor locatie 1 en 64,4% voor locatie 2. Het is belangrijk op te merken dat in dit onderzoek piekemissies van fijnstof tijdens het draaien van de droogtunnels werden voorkomen doordat de stalventilatoren tijdens deze perioden de benodigde ventilatiebehoefte van de droogventilatoren overnamen.

Bij de onderzochte manier van drogen bedroeg de gemiddelde extra ammoniakemissie vanuit de droogtunnel $0,024 \text{ kg/dierplaats}$ per jaar voor locatie 1 en $0,045 \text{ kg/dierplaats}$ per jaar voor locatie 2. Worden alleen de drie wintermetingen (metingen 1-1, 1-2 en 2-7) in ogenschouw genomen - om een valide vergelijking te kunnen maken met de wintermetingen in Winkel et al. (2011) - dan bedroeg de gemiddelde extra ammoniakemissie van deze drie wintermetingen $0,026 \text{ kg/dierplaats}$ per jaar. De extra ammoniakemissie is hoger voor locatie 1 omdat daar een groter deel van de totale ventilatie

door de droogtunnel plaatsvindt; de absolute toename van de ammoniakconcentratie over de mestlaag is vergelijkbaar voor de twee bedrijven. De achterliggende gedachte (hypothese) van dit onderzoek dat bij het dagelijks afdraaien van alle stalmest naar een mestdroogstelsel de extra ammoniakemissie aanzienlijk kan worden beperkt, is met dit resultaat succesvol aangetoond.

Een belangrijke vraag is of de in dit onderzoek gevonden extra ammoniakemissies vanuit de droogtunnel in enige mate worden gecompenseerd door een lagere emissie vanuit de stal door het toepassen van dagontmesting. Deze vraag kan vanuit de gekozen proefopzet niet worden beantwoord. Immers; in dit onderzoek is wel de ammoniakemissie bepaald voor de 'theoretische situatie' van een leghennenstal met dagontmesting zonder droogtunnel, echter, er waren geen identieke referentiestallen voor handen met wekelijkse of tweewekelijkse ontmesting om een voldoende zuivere vergelijking te kunnen maken. Wel kan een vergelijking gemaakt worden met de emissiefactoren van de betreffende stalsystemen (zonder dagontmesting). Dan blijkt dat de in dit onderzoek bepaalde ammoniakemissies bij dagontmesting hoger waren dan de emissiefactoren, zowel voor locatie 1 (0,173 versus 0,068 kg/dierplaats per jaar), als voor locatie 2 (0,110 versus 0,090 kg/dierplaats per jaar). Bedacht moet echter worden dat tussen identieke stallen van hetzelfde type aanzienlijke verschillen in emissies kunnen bestaan t.g.v. bijvoorbeeld management of het merk dier, zodat een vergelijking met een gemiddelde emissie, uitgedrukt in een emissiefactor, een onzuivere vergelijking is.

Hoewel het reducerende effect van dagontmesting op de ammoniakemissie niet kan worden aangetoond en gekwantificeerd, blijkt uit de literatuur dat dit effect bestaat. Verschillende studies laten zien dat de ammoniakemissie scherp afneemt direct na het afdraaien van mestbanden, dat de ammoniakemissie daarna weer toeneemt (lineair of exponentieel) door accumulatie van mest op de banden, en/of dat de absolute ammoniakemissie van experimentele stallen afneemt met de frequentie van afmesten. Dergelijke effecten zijn gerapporteerd in stallen met kooihuisvesting (Chepete et al., 2011; Fabbri et al., 2007; Hol and Groenestein, 1995; Liang et al., 2005; Nicholson et al., 2004; Reuvekamp and Van Niekerk, 1997; Uenk et al., 1994; Van Emous et al., 2000), grondhuisvesting (Satter and Gunnink, 1998; Scheer et al., 2002), en volièrehuisvesting (Beurskens et al., 2002; Dekker et al., 2011; Groot Koerkamp and Bleijenbergh, 1998; Groot Koerkamp et al., 1995; Groot Koerkamp and Montsma, 1995; Groot Koerkamp and Reitsma, 1997). Bedacht moet worden dat op grond van studies in kooistallen (zonder strooisel) geen uitspraken kunnen worden gedaan over de reductie van de ammoniakemissie uit stallen met grondhuisvesting of volièrehuisvesting, aangezien in deze laatste typen stallen het grootste deel van de totale ammoniakemissie uit het strooisel afkomstig is (Groot Koerkamp et al., 1995; Satter and Gunnink, 1998). Voor de studies aan stallen met grond- en volièrehuisvesting geldt dat deze studies niet waren opgezet om volgens een geldend meetprotocol op praktijkbedrijven een (relatieve) ammoniakemissie vast te stellen voor een 'stal zonder beluchting en met dagontmesting'. Veelal ging het om metingen aan experimentele stallen, waarbij het effect van frequentie van ontmesten als nevenresultaat wordt gemeld. Naar beste weten van de auteurs is het ammoniakemissie reducerende effect van het frequent verwijderen van bandenmest derhalve niet in het kader van de Regeling ammoniak en veehouderij opgenomen.

De gemiddelde toename van de geurconcentratie bij het passeren van de mestlaag bedroeg 761 OU_E/m^3 of 86,9% voor locatie 1 en 302 OU_E/m^3 of 65,0% voor locatie 2. Dit is hoger dan recent emissieonderzoek aan droogtunnels (Winkel et al., 2011), waarin de geurconcentratie over de mestlaag met ca. 356 OU_E/m^3 of 38,7% toenam. Ook in ouder onderzoek aan nageschakelde mestdroogsystemen nam de emissie van geur over de mestlaag met 50 tot 100% toe (Demmers et al., 1992; Kroodsma et al., 1996; Uenk et al., 1994). Dit alles betekent dat de onderzochte wijze van het snel indrogen van dagverse mest niet effectief is in het verminderen van de extra geuremissie vanuit de droogtunnels.

In dit onderzoek vond geen wezenlijke emissie plaats van methaan of lachgas uit de droogtunnels. Dit is in overeenstemming met recent emissieonderzoek aan droogtunnels (Winkel et al., 2011).

Samenvattend toont deze studie aan dat met de onderzochte manier van drogen een aantrekkelijk fijnstofrendement kan worden behouden terwijl de extra ammoniakemissie, zoals gevonden in eerder onderzoek aan conventionele manieren van drogen, aanzienlijk kan worden beperkt. De keerzijde is echter dat extra emissies van ammoniak en met name geur blijven optreden, zodat vraagtekens geplaatst kunnen worden bij de netto integrale milieuwinst die behaald wordt. Verder dient zich de vraag aan welke oplossingen nog meer voorhanden zijn om de extra emissies van ammoniak en geur

te verlagen. Daarbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het verlagen van het zoutgehalte in de mest (voer) zodat water makkelijker verdampt of het toepassen van een kleine wasser voor ammoniak en geur.

Conclusies

Uit dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- de onderzochte manier van het snel indrogen van dagverse en niet voorgedroogde mest is technisch mogelijk en resulteert in een droogproduct met een voldoende hoog drogestofgehalte;
- de achterliggende hypothese van dit onderzoek dat met het dagelijks afdraaien van alle stalrest naar het mestdroogsysteem, gevolgd door snelle indroging, de extra ammoniakemissie aanzienlijk kan worden beperkt, is succesvol aangetoond. De gemiddelde extra ammoniakemissies (\pm standaardafwijking tussen metingen) uit de droogtunnels bedroegen $0,024 \pm 0,010$ kg/dierplaats per jaar voor locatie 1 en $0,045 \pm 0,029$ kg/dierplaats per jaar voor locatie 2. Deze extra emissies zijn aanzienlijk lager dan die gevonden in recent onderzoek aan stallen zonder voordroging en een reguliere afdraaifrequentie/nadroging (gemiddeld $0,241$ kg/dierplaats per jaar). Uitgedrukt als percentage op stalniveau (droogventilatie + stalventilatie) bedroegen de gemiddelde emissietoenames voor ammoniak $19,5 \pm 17,3\%$ voor locatie 1 en $53,8 \pm 49,1\%$ voor locatie 2. De extra emissie is hoger voor locatie 2 omdat daar een groter deel van de totale ventilatie door de droogtunnel plaatsvindt; de absolute toename van de ammoniakconcentratie over de mestlaag was vergelijkbaar voor de bedrijven;
- de onderzochte manier van het snel indrogen van dagverse mest resulteert nog steeds in een substantiële verwijdering van PM₁₀, van gemiddeld $59,1 \pm 8,8\%$ voor locatie 1 en $64,4 \pm 2,9\%$ voor locatie 2. Op stalniveau (droogventilatie + stalventilatie) bedroegen de emissiereducties van PM₁₀ $32,0 \pm 6,5\%$ voor locatie 1 en $51,3 \pm 14,3\%$ voor locatie 2. Hierbij werden piekemissies van fijnstof tijdens het draaien van de droogtunnels voorkomen doordat de stalventilatoren de benodigde ventilatiebehoefte van de droogventilatoren automatisch overnamen;
- de onderzochte manier van het snel indrogen van dagverse mest resulteert – net als bij reguliere manieren van drogen – in een aanzienlijke toename van de geurconcentratie over de mestlaag; de gemiddelde toename bedroeg $86,9 \pm 71,4\%$ voor locatie 1 en $65,0 \pm 30,9\%$ voor locatie 2. Uitgedrukt als percentage op stalniveau (droogventilatie + stalventilatie) bedroegen de gemiddelde emissietoenames voor geur gemiddeld $50,0 \pm 43,2\%$ voor locatie 1 en $52,1 \pm 32,3\%$ voor locatie 2;
- de concentraties van methaan en lachgas in dit onderzoek waren vergelijkbaar met de achtergrondconcentraties; voor deze broeikasgassen konden geen emissies worden vastgesteld;
- met de gekozen onderzoeksopzet kan niet worden vastgesteld of de extra ammoniakemissie vanuit de droogtunnel in enige mate wordt gecompenseerd door een lagere emissie vanuit de stal door het toepassen van dagontmesting, hetgeen op grond van de beschikbare literatuur verwacht mag worden;
- tot slot moet bedacht worden dat de fijnstofreductie van mestdroogsystemen – ook bij de onderzochte manier van drogen – vergezeld gaat met extra emissie van ammoniak en geur.

Literatuur

- Beurskens, A. G. C., J. M. G. Hol, and G. Mol. 2002. *Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie van stallen LIV; Volièrestal voor leghennen [Ammonia and odour emission from livestock housing systems; aviary housing system for laying-hens]*. Report 2002-16. Wageningen, the Netherlands: Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG).
- Cambra-Lopez, M., A. Winkel, J. Mosquera, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2012. Comparison between light scattering and gravimetric devices for sampling PM10 mass concentration in livestock houses. In *Ninth International Livestock Environment Symposium (ILES IX), 8-12 July 2012*. Valencia, Spain: ASABE.
- CEN. 1998. EN 12341:1998. Air quality - Determination of the PM 10 fraction of suspended particulate matter - Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN; European Committee for Standardization).
- CEN. 2003. EN 13725:2003. Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN; European Committee for Standardization).
- CEN. 2005. EN 14907:2005. Ambient air quality - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM2.5 mass fraction of suspended particulate matter. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN; European Committee for Standardization).
- Chardon, W. J., and K. W. Van der Hoek. 2002. *Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw [Calculation method for emission of fine dust from agriculture]*. Alterra-report 682 / RIVM-report 773004014. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Alterra and the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- Chepete, J. H., H. Xin, and H. Li. 2011. Ammonia emissions of laying-hen manure as affected by accumulation time. *Journal of Poultry Science* 48(2):133-138.
- 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.
- Dekker, S. E. M., A. J. A. Aarnink, I. J. M. de Boer, and P. W. G. G. Koerkamp. 2011. Emissions of ammonia, nitrous oxide, and methane from aviaries with organic laying hen husbandry. *Biosyst. Eng.* 110(2):123-133.
- Demmers, T. G. M., M. G. Hissink, and G. H. Uenk. 1992. *Het drogen van pluimveemest in een droogtunnel en het effect hiervan op de ammoniakemissie [The drying of poultry manure in a drying tunnel and the effect on ammonia emission]*. Report 92-6. Wageningen, the Netherlands: Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG-DLO).
- Fabbri, C., L. Valli, M. Guarino, A. Costa, and V. Mazzotta. 2007. Ammonia, methane, nitrous oxide and particulate matter emissions from two different buildings for laying hens. *Biosyst. Eng.* 97(4):441-455.
- Groenestein, C. M., J. Mosquera, and N. W. M. Ogink. 2011. *Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 [Measurement protocol for methane emission from housing systems in livestock production 2010]*. Report 493. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Groot Koerkamp, P. W. G., A. Keen, T. G. C. M. Van Niekerk, and S. Smit. 1995. The effect of manure and litter handling and indoor climatic conditions on ammonia emissions from a battery cage and an aviary housing system for laying hens. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 43:351-373.
- Groot Koerkamp, P. W. G., and H. Montsma. 1995. *De ammoniakemissie uit een volièrestal met het multifloorsysteem en een mestdroogtunnel [The ammonia emission from an aviary house with the multifloor system and a manure drying tunnel]*. Report 94-28. Wageningen, the Netherlands: Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG-DLO).
- Groot Koerkamp, P. W. G., and B. Reitsma. 1997. *De ammoniakemissie uit een volièrestal voor leghennen met het etagesysteem [The ammonia emission from an aviary house for laying hens with the tiered wire floor system]*. Report 97-05. Wageningen, the Netherlands: Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG).
- Groot Koerkamp, P. W. G., and R. Bleijenberg. 1998. Effect of type of aviary, manure and litter handling on the emission kinetics of ammonia from layer houses. *Brit. Poult. Sci.* 39(3):379-392.
- Hofschreuder, P., Z. Yang, A. J. A. Aarnink, and N. W. M. Ogink. 2008. *Measurement protocol for emissions of fine dust from animal houses: considerations, draft protocol and validation*. Report 134. Lelystad, the Netherlands: Animal Sciences Group, Wageningen University and Research Centre.
- Hol, J. M. G., and C. M. Groenestein. 1995. *Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XVII: Compactbatterij voor leghennen met tweemaal daags verwijderen van natte mest*. Report 95-1001. Wageningen, the Netherlands: Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG).
- Huis in 't Veld, J. W. H., P. W. G. Groot Koerkamp, and R. Scholtens. 1999. *Voletage volièresysteem voor legouderdieren en een droogtunnel met geperforeerde mestbanden [Aviary housing system for layer breeders and drying tunnel for manure]*. Report 99-10. Wageningen, the Netherlands: Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG).
- Kroodsmma, W., R. Bleijenberg, N. W. M. Ogink, and Y. Wintjens. 1996. *Nadrogging van voorgedroogde leghennenmest volgens het HELI-systeem en de laagsgewijze composteermethode [Drying of pre-dried layer droppings with the HELI-system and the in layers compost method]*. Report 96-08. Wageningen, the Netherlands: Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG-DLO).

- Liang, Y., H. Xin, E. F. Wheeler, R. S. Gates, H. Li, J. S. Zajaczkowski, P. A. Topper, K. D. Casey, B. R. Behrends, D. J. Burnham, and F. J. Zajaczkowski. 2005. Ammonia emissions from U.S. laying hen houses in Iowa and Pennsylvania. *Trans ASAE* 48(5):1927-1941.
- Mosquera, J., C. M. Groenestein, and N. W. M. Ogink. 2011. *Protocol voor meting van lachgasemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 [Measurement protocol for nitrous oxide emission from housing systems in livestock production 2010]*. Report 494. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Nicholson, F. A., B. J. Chambers, and A. W. Walker. 2004. Ammonia emissions from broiler litter and laying hen manure management systems. *Biosyst. Eng.* 89(2):175-185.
- Ogink, N. W. M., and G. Mol. 2002. *Uitwerking van een protocol voor het meten van de geuremissie uit stallocaties en stalsystemen in de veehouderij*. IMAG nota P 2002-57. Wageningen, the Netherlands: IMAG.
- Ogink, N. W. M. 2011. *Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 [Protocol for the measurement of odour emissions from housings in animal production 2010]*. Report 491. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ogink, N. W. M., P. Hofschreuder, and A. J. A. Aarnink. 2011a. *Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 [Protocol for the measurement of fine emissions from housings in animal production 2010]*. Report 492. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Ogink, N. W. M., J. Mosquera, and J. M. G. Hol. 2011b. *Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010 [Measurement protocol for ammonia emission from housing systems in livestock production 2010]*. Report 454. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, H. Joergensen, A. Chwalibog, A. Haeussermann, M. J. W. Heetkamp, and A. J. A. Aarnink. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: a literature review (Manuscript BC 08 008). *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal X*.
- Reuvekamp, B. F. J., and T. G. C. M. Van Niekerk. 1997. *Ammoniakemissie bij leghennen op batterijen bij drogen tot minimaal 55% drogestof en bij natte mest [Ammonia emission from manure belt batteries for laying hens with forced drying to minimal 55% dry matter and with wet manure]*. PP-uitgave no. 63. Beekbergen, the Netherlands: Praktijkonderzoek Pluimveehouderij "Het Spelderholt".
- RIVM. 2011. Annual national emissions of PM10; in total and per sector/source, for 2011. Bilthoven, the Netherlands: Emissieregistratie, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) [Pollutant Release and Transfer Register, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM)]. Available at: <http://www.emissieregistratie.nl>. Accessed 18 June 2013.
- Satter, I. H. G., and H. Gunnink. 1998. *Onderzoek naar de ammoniak emissie uit stallen XXXIX: Scharrelstal voor leghennen met droging van de mest op banden onder de beun [Ammonia emission from livestock housing systems: Floor housing system for laying hens with manure belt aeration underneath a raised slatted floor]*. Report 1998-1003. Wageningen, the Netherlands: Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG).
- Scheer, A., J. M. G. Hol, and G. Mol. 2002. *Onderzoek naar de ammoniak- en geuremissie uit stallen LVI: Scharrelstal voor leghennen met frequente mest- en strooiselverwijdering [Ammonia and odour emission from livestock housing systems: Free-range housing system for laying hens with weekly removal of litter and manure]*. Report 2002-17. Wageningen, the Netherlands: Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG).
- Takai, H., S. Pedersen, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. Groot Koerkamp, G. H. Uenk, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schröder, K. H. Linkert, and C. M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70(1):59-77.
- Uenk, G. H., G. J. Monteny, T. G. M. Demmers, and M. G. Hissink. 1994. *Praktijkonderzoek naar het drogen van leghennenmest in een droogtunnel en het effect op ammoniak-, geur- en stofemissie [Drying of poultry manure in a tunnel and the effect on the emission of ammonia, odour and dust]*. Report 94-21. Wageningen, the Netherlands: Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG-DLO).
- Van Emous, R., B. F. J. Reuvekamp, and T. G. C. M. Fiks-Van Niekerk. 2000. *Mestbandbatterij voor leghennen: Afmestfrequentie en beluchtingsmanagement [Battery cages with manure belts for laying hens: Frequency of manure removal and forced air drying management]*. PP-uitgave no. 90. Lelystad, the Netherlands: Praktijkonderzoek Veehouderij.
- Winkel, A., J. Mosquera, J. M. G. Hol, G. M. Nijeboer, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2009. *Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in volièrehuisvesting [Dust emission from animal houses: layer hens in aviary systems]*. Report 278. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. Mosquera, H. H. Ellen, R. A. Van Emous, J. M. G. Hol, G. M. Nijeboer, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2011. *Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in stallen met een droogtunnel [Dust emission from animal houses: laying hens in houses with a tunnel drying system]*. Report 280. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., K. Blanken, H. H. Ellen, and N. W. M. Ogink. 2013. *Ammoniakvorming in mestdroogsystemen op legpluimveebedrijven met mestbandbeluchting [Ammonia production in manure drying systems at layer farms with manure belt aeration]*. Report 539. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Wintjes, Y. 1993. *Gaswasfles. In: Meetmethoden NH3-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest en ammoniakproblematiek in de veehouderij* 16. Wageningen, the Netherlands: DLO.

Zhao, Y., A. J. A. Aarnink, P. Hofschreuder, and P. W. G. Groot Koerkamp. 2009. Evaluation of an impaction and a cyclone pre-separator for sampling high PM10 and PM2.5 concentrations in livestock houses. *Journal of Aerosol Science* 40(10):868-878.

Bijlagen

Bijlage A Beschrijving locatie 1

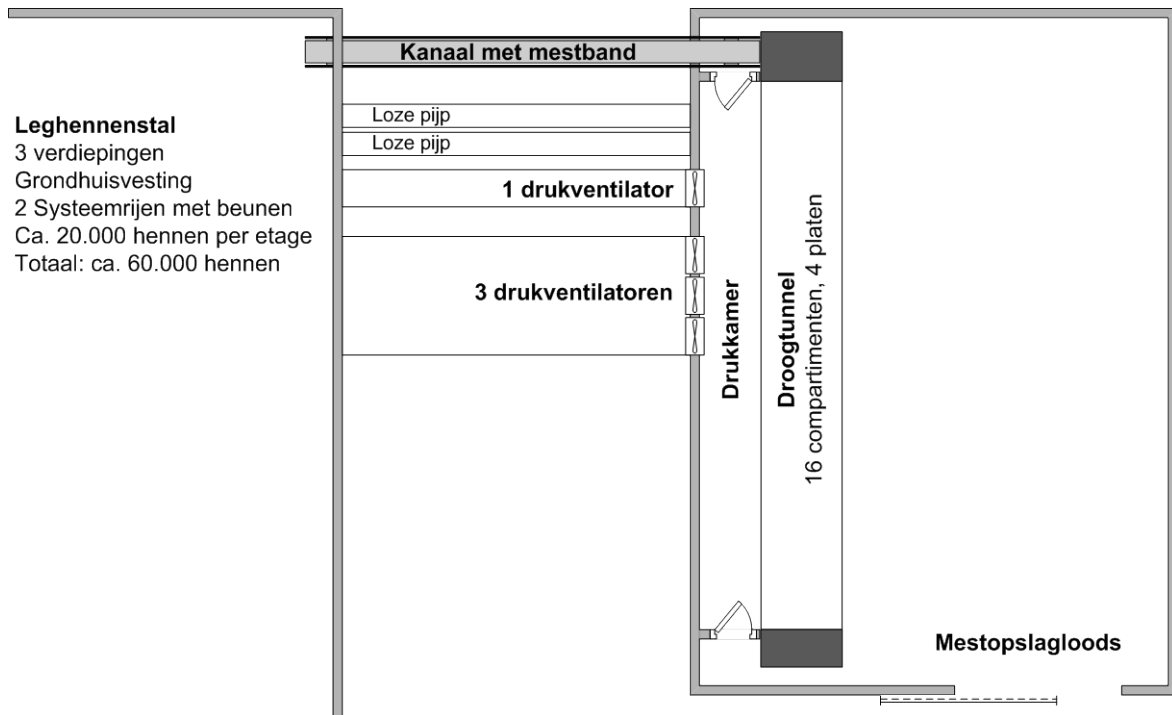
Belangrijkste kenmerken stal

Kenmerk	Beschrijving
Rav code en omschrijving	E2.12.1 Scharrelstal in twee verdiepingen met mestbanden onder de roosters (twee maal per week afdraaien), bezetting 9 dieren per m ² (BWL 2004.11)
Emissiefactoren	PM10: 84 g/dierplaats per jaar Ammoniak: 68 g/dierplaats per jaar Geur: 0,34 OUE/s per dierplaats <i>N.B.: in afwijking van de stalbeschrijving in de Rav werden in dit onderzoek de mestbanden in de stal elke dag afgedraaid naar de droogtunnel (dagontmesting)</i>
Afmetingen dierverblijf (l x b x h _{goot} /h _{nok})	98,8 x 22,6 x 3,0/3,0 m (etages 1 en 2) 98,8 x 22,6 x 3,0/6,2 m (etage 3)
Staloppervlak en stalinhoud	Totale staloppervlak: ca. 6.699 m ² Totale stalinhoud: ca. 23.669 m ³
Aantal dieren bij opzet	Ca. 20.000 per etage, ca. 60.000 totaal
Bezettingsgraad bij opzet	Ca. 9,0 hennen per m ² Ca. 2,5 hennen per m ³
Merk dieren	Lohmann LSL Classic leghennen (wit)
Luchtinlaat	Inlaatventielen in zijgevels achter winddrukcap
Luchtuitlaat	Lengteventilatie: ventilatoren in eindgevel
Ventilatie-instellingen	Op basis van staltemperatuur
Temperatuur	Streefwaarde: 19 °C
Verwarming	Geen
Speciale klimaatvoorzieningen	Geen
Huisvestingssysteem	Scharrelhuisvestingssysteem: strooiselvloer met twee systeemrijen (systeemlengte: 98,8 m) met legnesten, beun met mestbanden en mestbandbeluchting (0,3 m ³ /uur per dier). Tijdens dit onderzoek was de voordroging uitgeschakeld
Voersysteem, voer en voertijden	Voersysteem: voerketting door het systeem (drie circuits per rij). Voersoort: Legmeel 1. Voertijden: 10:00, 11:00, 15:00, 16:00 en 19:00 uur
Drinksysteem en drinktijden	Drinkleiding met nippels en lekschotelletjes door het systeem (twee leidingen per rij, één op elke beun). Drinktijden: 4:00 tot 21:00 uur
Strooiselmanagement	De stal wordt ingestrooid met houtkrullen. Gedurende de legperiode wordt luzerne bijgestrooid als ruwvoer. Er wordt niet bijgestrooid
Lichtregime	15L:9D, licht aan van 4:30 tot 19:30 uur
Productie	Leeftijd bij opzet: ca. 18 weken Leeftijd bij ruimen: ca. 80 weken Leegstand: ca. 14 dagen

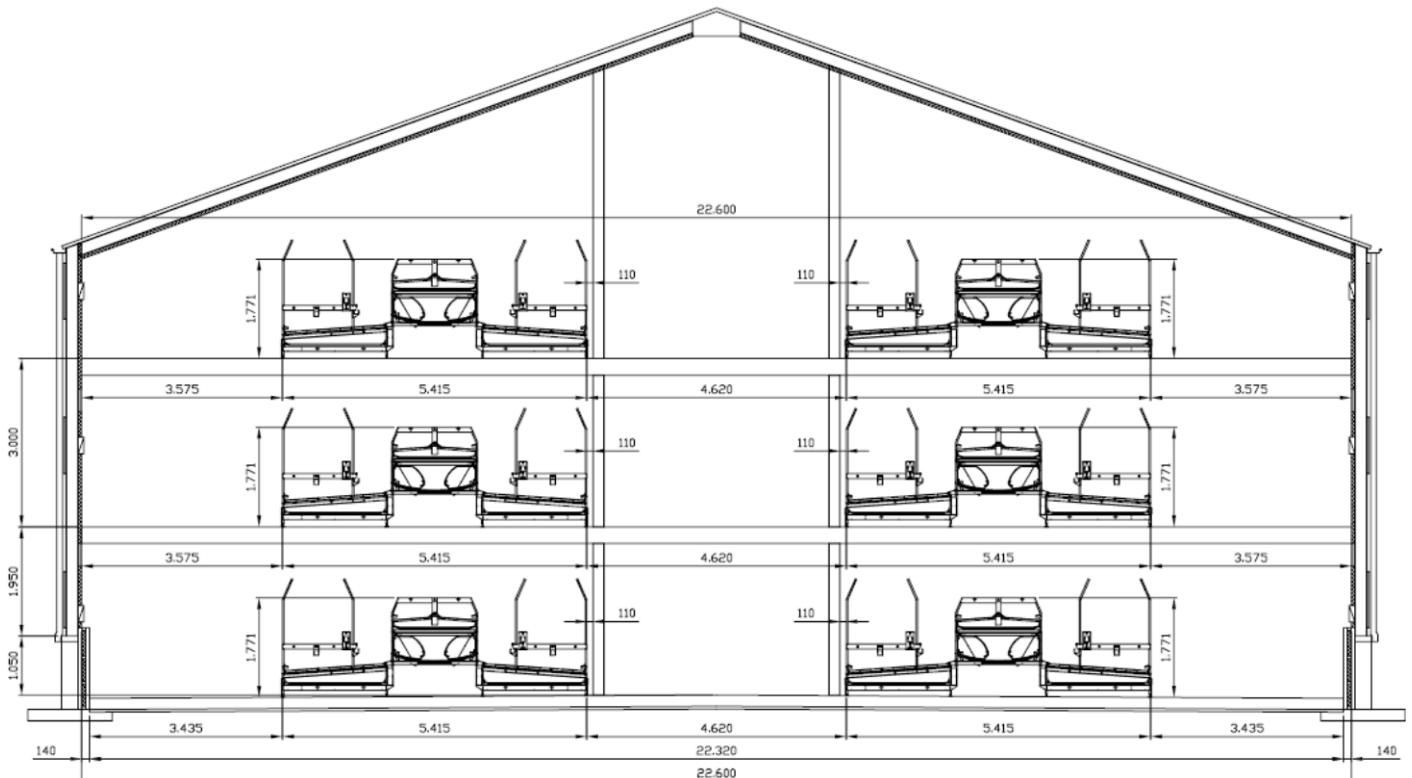
Belangrijkste kenmerken mestdroogsysteem en ventilatie

Kenmerk	Beschrijving
RAV code en omschrijving	E 6.4.2 droogtunnel met geperforeerde metalen platen; 55% emissiereductie fijn stof (BWL 2007.09.V2)
Emissiefactoren	Emissiereductie PM10: 55% (op stalniveau) Ammoniak: 0,002 kg/dierplaats per jaar
<i>Droogtunnel</i>	
- Positionering	In een aparte loods met drukkamer, droogtunnel en opslag voor de gedroogde mest (zie tekening volgende pagina)
- Aantal droogniveaus	4
- Afmetingen	Lengte: 24 m in 16 secties van 1,5 m; breedte: 1,96 m
- Totale droogoppervlak	188 m ² ; 319 hennen per m ² droogoppervlak
- Mestlaagdikte	Ca. 10 cm
- Bron drooglucht	100% stallucht uit alle drie etages
<i>Ventilatie</i>	
- Stalventilatie (bypass)	Per etage: 4 v-snaarventilatoren, aan/uit-geregeld, Ø 126 cm, elk max. 39.300 m ³ /uur (bij 10 Pa) 2 v-snaarventilatoren, frequentiegeregeld, elk max. 20.000 m ³ /uur Totaal geïnstalleerde max. ventilatiecapaciteit van alle etages: ca. 591.600 m ³ /uur (ca. 9,9 m ³ /uur per hen)
- Droogventilatie	4 Drukventilatoren, Ø 92 cm, elk max. 28.391 m ³ /uur (bij 125 Pa). Totaal geïnstalleerde max. ventilatiecapaciteit: ca. 113.564 m ³ /uur (ca. 1,9 m ³ /uur per hen)
- Totale max. ventilatiecapaciteit	Ca. 705.164 m ³ /uur (ca. 11,8 m ³ /uur per hen)
<i>Droogmanagement</i>	
- Mest afdraaien	Tweemaal daags; 06:00 – 08:15 en 18:00 – 20:15 uur met aansturing d.m.v. een tijd klok. Tijdens deze perioden wordt de droogventilatie automatisch teruggeschakeld en overgenomen door de stalventilatoren. Daarna wordt (eveneens automatisch) de luchtuitstroomopening van de mestloods d.m.v. een kunststof gordijn gesloten. Vervolgens komt de droogtunnel in beweging (vullen, doordraaien, uitstorten), gedurende ca. 36 minuten. Gedurende de gehele 2,5 uur ligt de droogventilatie stil en is het gordijn dicht om het stof in de loods te laten uitzakken en piekemissies naar de buitenlucht te voorkomen
- Mesthoeveelheden	Per keer wordt ca. 50% van de mestbanden in het huisvestingssysteem ingebracht; per dag wordt de gehele stal in de droogtunnel gebracht
- Aantal batches (leeftijden)	Per keer afdraaien wordt de bovenste laag van het systeem gevuld met verse mest. Op dat moment zijn de leeftijden (gemiddeld; vanaf het moment dat de mest is geproduceerd): niveau 1: 12 uur, niveau 2: 24 uur, niveau 3: 36 uur, niveau 4: 48 uur. Na 48 uur drogen wordt de mest op een leeftijd van gemiddeld 60 uur vanaf niveau 4 op de vloer van de mestloods gestort

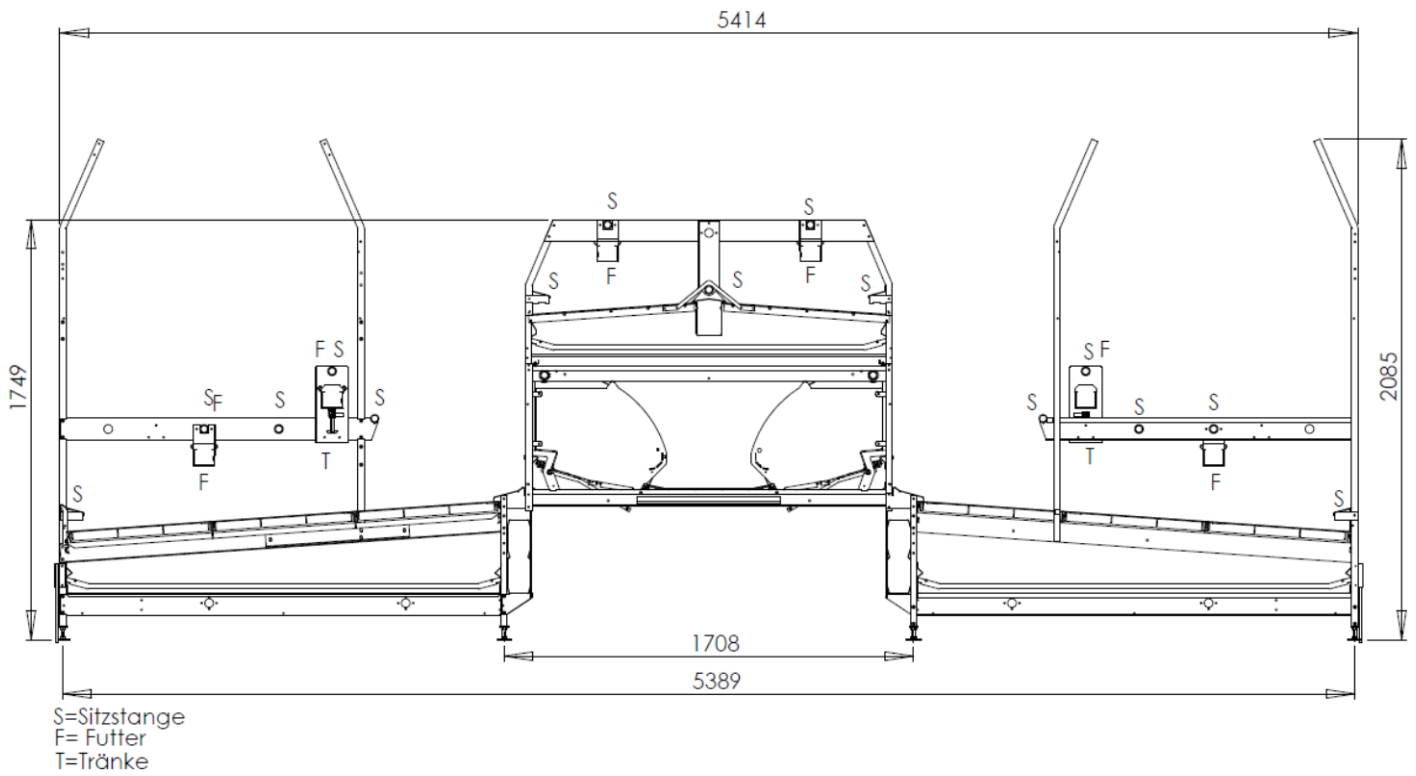
Schematische tekening situering stal en mestloods



Dwarsdoorsnede leghennenstal in drie verdiepingen



Dwarsdoorsnede van het scharreelsysteem in de stal van locatie 1



Foto's



Linker gebouw op de foto: de leghennenstal in drie verdiepingen. Centraal op de foto: de loods met droogtunnel en mestopslag



A: luchtkanalen met in totaal 4 drukventilatoren
 B: kanaal met mestband voor transport van mest vanuit de stal naar de droogtunnel
 C: Open strook in de zijgevel van de mestopslagloods voor luchtuitleat van drooglucht



Zowel links als rechts: detailfoto's van het huisvestingsysteem in de stal



Binnenaanzicht van de mestopslagloods. Links op de foto: de droogtunnel. Rechts op de foto: vjzelleiding voor afvoer van gedroogde mest vanuit de droogtunnel naar de vloer van de loods



Voorraanzicht op de droogtunnel. Achter de droogtunnel (tussen zijgevel en droogtunnel) bevindt zich de drukkamer. De positie van de droogplaten is met 1-4 aangegeven. Zichtbaar is de open spleet in de zijgevel voor luchtuitleat van drooglucht naar buiten. Met pijlen is de uitstroom van drooglucht weergegeven



Binnenaanzicht van de drukkamer. Zichtbaar zijn drie van de vier drukventilatoren. Met twee pijlen is aangegeven waar de lucht de droogtunnel binnen wordt gestuwd



Vooraanzicht van de droogtunnel met houten meetopstelling, welke de uitgaande lucht uit de droogtunnel (zowel uit band 1 van boven als uit banden 2+3+4 door de centrale opening) langs het uitgaande meetpunt forceert. De luchtstroming is met pijlen aangegeven



Ventilator 4 in de drukkamer



Detailfoto van de droogmest op plaat 3. Zichtbaar is ook de onderzijde van de geperforeerde elementen van plaat 2



Meting van de ingaande lucht in de drukkamer, zowel t.h.v. de bovenste als onderste instroomopening



Detailfoto van een meting van de uitgaande lucht

Bijlage B Beschrijving locatie 2*Belangrijkste kenmerken locatie 2*

Kenmerk	Beschrijving
Rav code en omschrijving	E 2.11.1 Volièrehuisvesting, minimaal 50% van de leefruimte is rooster met daaronder een mestband. Mestbanden minimaal eenmaal per week afdraaien. Roosters in minimaal twee etages (BWL 2004.09.V1)
Emissiefactoren	PM10: 65 g/dierplaats per jaar Ammoniak: 90 g/dierplaats per jaar Geur: 0,34 OUE/s per dierplaats <i>N.B.: in afwijking van de stalbeschrijving in de Rav werden in dit onderzoek de mestbanden in de stal elke dag afgedraaid naar de droogtunnel (dagontmesting)</i>
Afmetingen dierverblijf (l x b x h _{goot} /h _{nok})	66,5 x 13,0 x 3,0/3,0 m (stal 1; begane grond) 66,5 x 13,0 x 3,0/5,2 m (stal 2; eerste etage) 62,3 x 13,4 x 3,3/3,3 m (stal 3; begane grond) 62,3 x 13,4 x 2,7/5,2 m (stal 4; eerste etage)
Staloppervlak en stalinhoud	Alle stallen hebben een overdekte uitloop van ca. 325 m ² Totale staloppervlak: ca. 3.399 m ² Totale stalinhoud: ca. 12.065 m ³ Totale oppervlak overdekte uitloop: 1.300 m ³
Aantal dieren bij opzet	Ca. 33.000 in stal 1+2, ca. 37.000 in stal 3+4, ca. 70.000 totaal
Bezettingsgraad bij opzet	Ca. 20,6 hennen per m ² staloppervlak (14,9 inclusief uitlopen) Ca. 5,8 hennen per m ³ stalinhoud
Merk dieren	Stal 1+2: Lohman Brown Classis leghennen (meting 1–3) en Bovans Brown leghennen (meting 4–7) Stal 3+4: Lohman Brown Classis leghennen
Luchtinlaat	Inlaatventielen in zijgevels achter winddrukapp
Luchtuitlaat	Lengteventilatie: ventilatoren in einde van zijgevels
Ventilatie-instellingen	Op basis van temperatuur (stal 1–4) en onderdruk (stal 3+4)
Temperatuur	Streefwaarde: 19 °C (winter) en 21 °C (zomer)
Verwarming	Geen
Speciale klimaatvoorzieningen	Geen
Huisvestingssysteem	Volièrehuisvesting in drie systeemrijen per stal zonder mestbandbeluchting. In de stellingen zijn standaard beluchtingsbuizen aanwezig, maar deze zijn 'loos'
Voersysteem, voer en voertijden	Voersysteem: spiraalvoeding door het systeem; 7 circuits per etage in stal 1+2, 8 circuits per etage in stal 3+4. Voersoort: Legmeel 1 en 2. Voertijden: 10:30 (blokvoeding in twee beurten) en vijf voerbeurten tussen 13:00 en 19:00 uur
Drinksysteem en drinktijden	Stal 1+2: 5 drinklijnen per etage, met nippels en lekschotelletjes door het systeem. Stal 3+4: 9 drinklijnen per etage, met nippels zonder lekschotelletjes. Drinktijden: op de drinklijnen aan weerszijden van de legnesten staat altijd water, op de overige drinklijnen alleen na 12:00 uur
Strooiselmanagement	De stallen worden ingestrooid met snijmaissilage. Dit is na ca. een maand niet meer vindbaar. In de benedenetages wordt het strooisel dun gehouden door het weg te scheppen naar de mestbanden. In stal 1 werd vóór meting 4 een strooiselschuif geïnstalleerd. In de bovenetages werken de hennen overtollig strooisel weg door een open strook onder de middelste systeemrij; dit strooisel valt op de bovenste mestband van dezelfde stelling in de benedenetage
Lichtregime	16L:8D, licht aan van 4:00 tot 20:00 uur
Productie	Leeftijd bij opzet: ca. 17 weken Leeftijd bij ruimen: ca. 78 weken Leegstand: ca. 3 weken

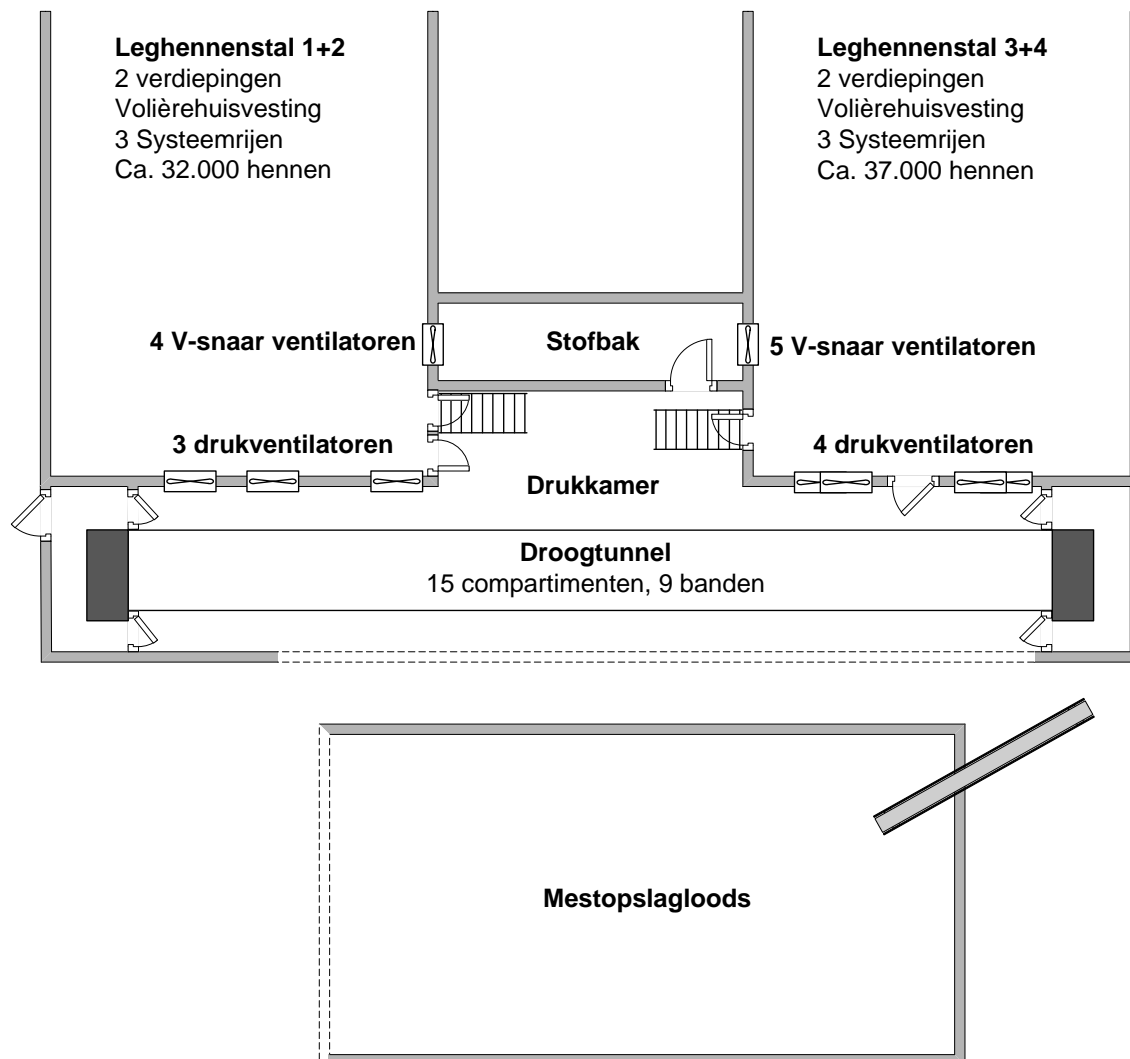
Belangrijkste kenmerken mestdroogsysteem en ventilatie

Kenmerk	Beschrijving
RAV code en omschrijving	E 6.4.1 droogtunnel met geperforeerde banden; 30% emissiereductie fijn stof (BWL 2005.06.V2)
Emissiefactoren	Emissiereductie PM10: 30% (op stalniveau) Ammoniak: 0,002 kg/dierplaats per jaar
<i>Droogtunnel</i>	
- Positionering	In een uitbouw achter de achtergevel van twee 2-etage stallen met drukkamer, mestdroogsysteem en gangpad aan de uitstroomzijde (zie tekening volgende pagina)
- Aantal droogniveaus	9
- Afmetingen	Lengte: 30 m in 15 secties van 2,0 m; breedte: 1,50 m
- Totale droogoppervlak	405 m ² ; 170 hennen per m ² droogoppervlak Na aanpassingen van de droogtunnel tussen metingen 2-2 en 2-3 waren alleen nog de instroomspleten van banden 1 t/m 4 open, het effectieve droogoppervlak bedroeg daarmee ca. 180 m ² , ofwel 383 hennen per m ² droogoppervlak
- Mestlaagdiktes na optimalisatie van de droogtunnel	Band 1: ca. 7 cm Band 2 en 3: ca. 9 cm Band 4 en 5: ca. 10 cm (<i>band 5 kreeg geen drooglucht</i>) Band 6 en 7: ca. 14 cm (<i>beide kregen geen drooglucht</i>) Band 8 en 9: ca. 17 cm (<i>beide kregen geen drooglucht</i>)
- Drooglucht	100% stallucht uit alle twee stallen/vier etages
<i>Ventilatie</i>	
- Stalventilatie (bypass)	<i>Stal 1 en 2 zijn niet (geheel) klimaatgescheiden. De middelste volièrestelling van stal 1 (beneden) loopt naar boven toe door in stal 2. Op deze plaats bevindt zich geen tussenvloer en vindt luchtuitwisseling plaats. Dit geldt eveneens voor stallen 3 en 4.</i> Stal 1+2: kolom van 4 v-snaarventilatoren in het einde van de zijgevel, aan/uit-geregeld, Ø 140 cm, elk max. 40.000 m ³ /uur (bij 10 Pa) Stal 3+4: kolom van 5 v-snaarventilatoren, van hetzelfde type Totaal geïnstalleerde max. ventilatiecapaciteit stal: ca. 360.000 m ³ /uur (ca. 5,1 m ³ /uur per hen)
- Droogventilatie	Stal 1+2: 3 drukventilatoren, frequentiegeregeld, Ø 90 cm, elk max. 25.800 m ³ /uur (bij 100 Pa) Stal 3+4: 4 drukventilatoren van hetzelfde type Totaal geïnstalleerde max. ventilatiecapaciteit droogtunnel: ca. 180.600 m ³ /uur (ca. 2,6 m ³ /uur per hen)
- Totale max. ventilatiecapaciteit	Ca. 540.600 m ³ /uur (ca. 7,7 m ³ /uur per hen)
<i>Droogmanagement</i>	
- Mest afdraaien	Achtmaal daags, met aansturing d.m.v. een tijd klok. Tijdens deze perioden wordt de droogventilatie automatisch teruggeschakeld naar 10% en overgenomen door de stalventilatoren. Vervolgens komt de droogtunnel in beweging (vullen, doordraaien, afstorten), gedurende ca. 6 minuten per keer
- Mesthoeveelheden	Per keer wordt ongeveer één achtste deel van de mestbanden in het huisvestingssysteem ingebracht; per dag wordt de gehele stal in de droogtunnel gebracht
- Aantal batches (leeftijden)	Op banden 1 t/m 4 liggen ca. 8 batches mest. Wanneer de achtste batch naar band 5 (welke niet wordt belucht) wordt doorgedraaid is deze ca. 27 uren gedroogd.

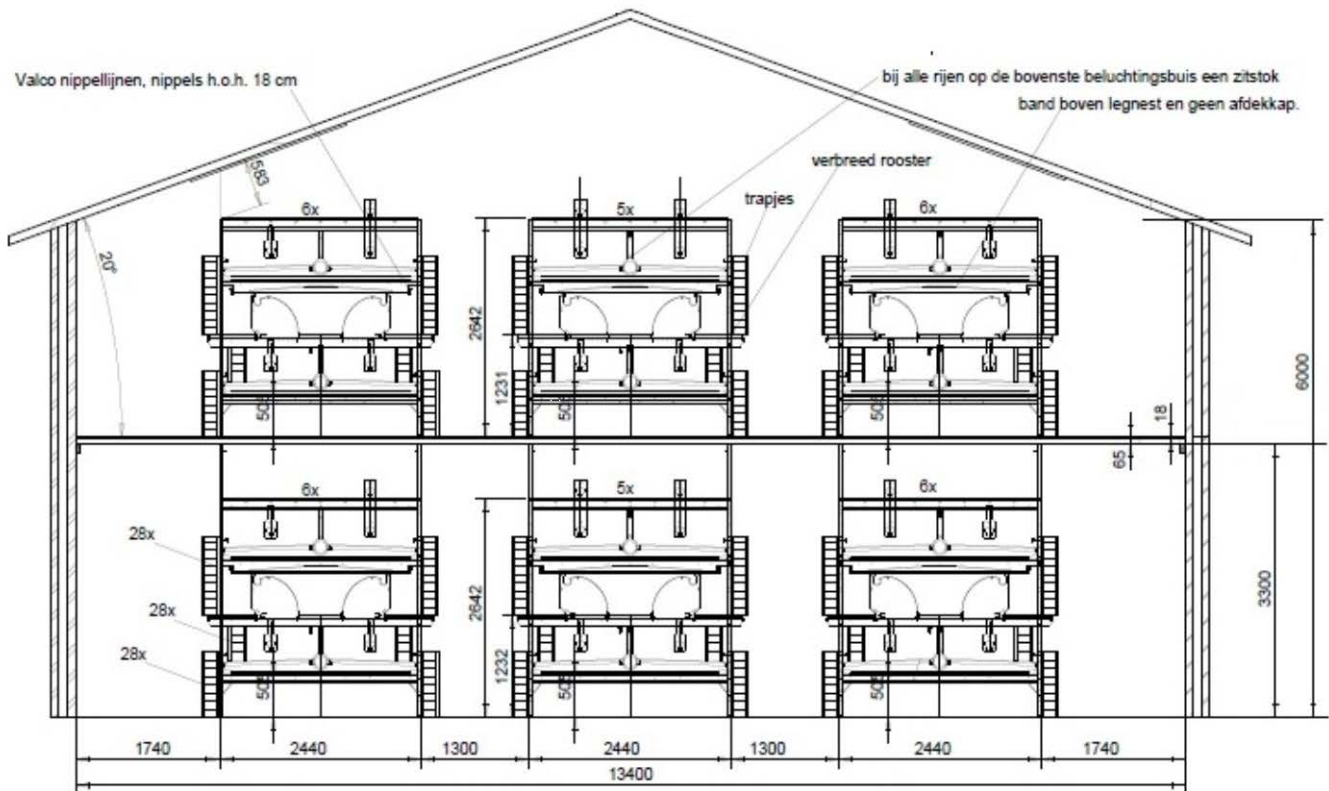
Berekening gemiddelde verblijftijd van mest in de stal

Kenmerk	Waarde	Eenheid
Lengte banden in het systeem	65	m
Aantal banden stal 1	14	banden
Aantal banden stal 2	12	banden
Snelheid van draaien volgens leverancier	3,0	m/min
Snelheid van draaien gemeten	2,8	m/min
Aantal draaimomenten per dag	8	
Draaitijd per keer draaien	6	min
Totale draaitijd	48	min/dag
Elke band draait	4	keer per dag
Elke band legt dagelijks een afstand af van	67,2	m/dag
Maximale verblijftijd mest in de stal is dan	23,2	uur
Gemiddelde verblijftijd mest in de stal is dan	11,6	uur

Schematische tekening van de bedrijfssituatie

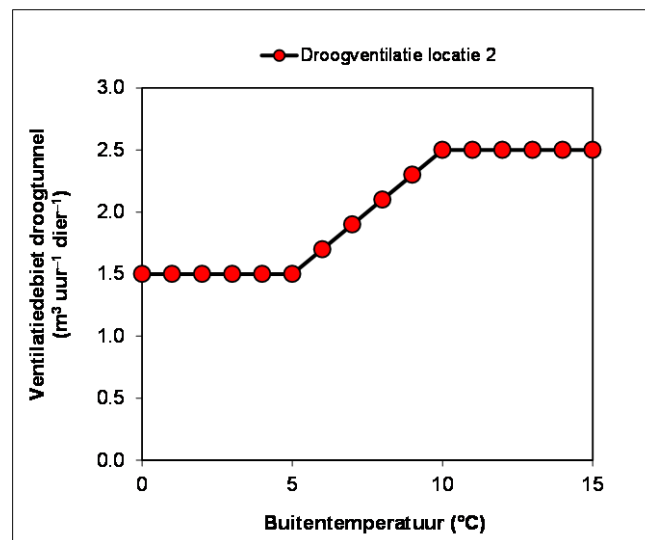


Dwarsdoorsnede leghennenstallen 3 (beneden) en 4 (boven)



In stallen 1 en 2 bevonden zich eveneens drie systeemrijen per etage van hetzelfde merk en type. Alleen de maatvoeringen van stallen 1 en 2 zijn enigszins anders.

Regeling van het ventilatiedebiet door de droogtunnel van locatie 2 als functie van de buitentemperatuur



Foto's



Zijaanzicht van stal 1 (onder) en 2 (boven)



Achterzijde van de stallen, met aanbouw voor droogtunnel. Rechts is de mestloods zichtbaar



De loods voor gedroogde mest



Gang aan de uitstroomzijde van de droogtunnel. Met nummers zijn de droogbanden aangegeven



Drukkamer (gang) tussen achterzijde van de stallen en de droogtunnel, gezien vanaf de toegangsdeur. Zichtbaar is de deur van stal 3 (A).



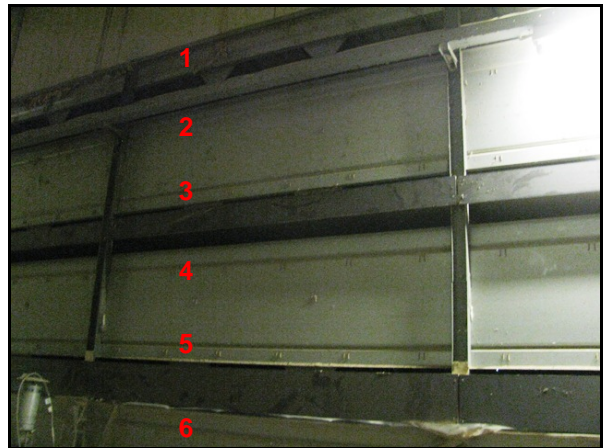
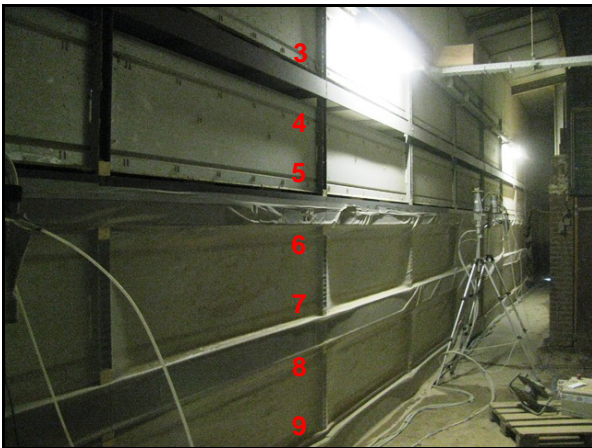
Drukkamer (gang) tussen achterzijde van de stallen en de droogtunnel, gezien vanaf de andere zijde. Zichtbaar zijn de toegangsdeur (B) en deuren van stallen 1 (C) en 2 (D)



Meting in de drukkamer aan de ingaande zijde, zowel op 1/3 als 2/3 van de lengte van de droogtunnel (meetposities **A** en **B**). De foto is genomen tijdens meting 2: de droogtunnel is nog in originele situatie (geheel open instroomspleten: **C**)

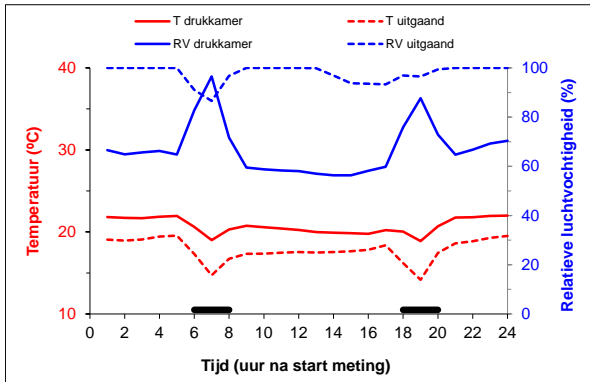


Meting in de gang aan de uitstroomzijde, tussen houten schotten ter voorkoming van windinvloeden van buiten. Aan de uitstroomzijde bestonden ook twee meetposities, eveneens op 1/3 en 2/3 van de lengte van de droogtunnel

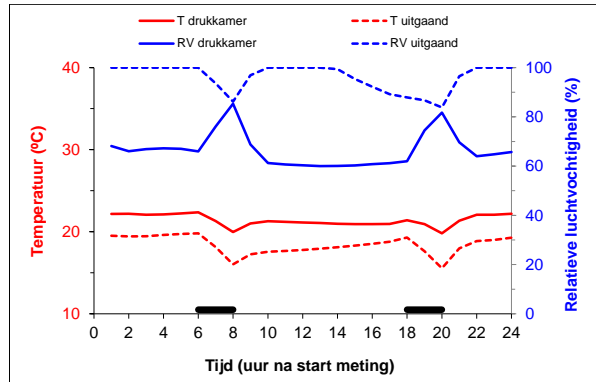


Foto's van de droogtunnel na optimalisatie: de drie onderste instroomspleten van banden 5/6, 7/8 en 9 zijn met plastic zeil afgedicht. De instroomspleet van banden 3/4 is vernauwd met een strook hout. Alleen de instroomspleet van banden 1/2 is nog geheel open

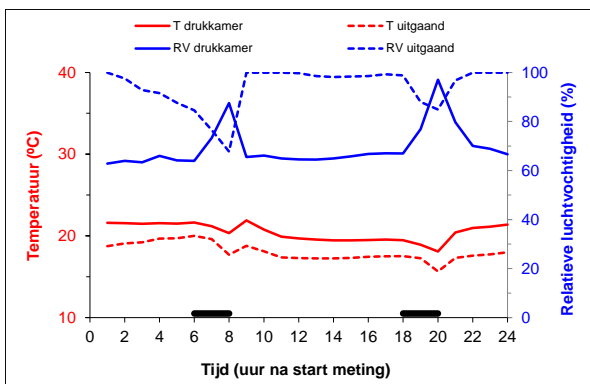
Bijlage C Figuren temperatuur en luchtvochtigheid locatie 1



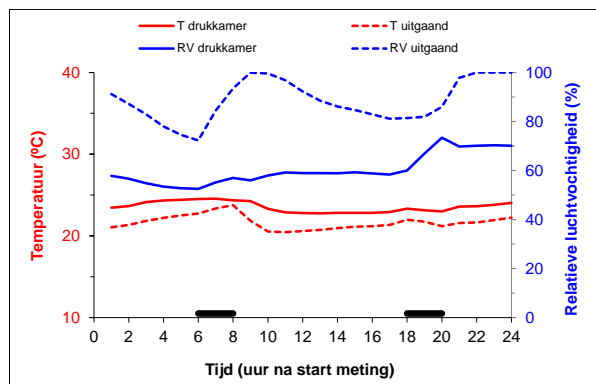
Meting 1



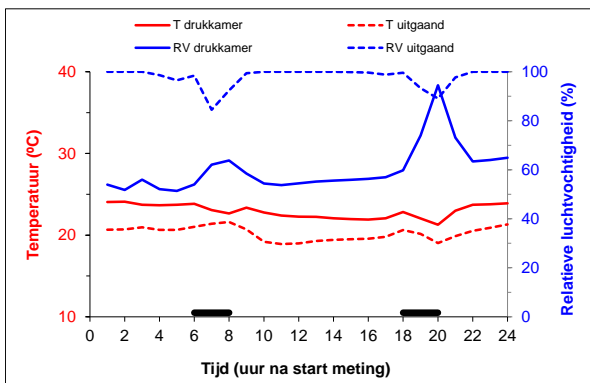
Meting 2



Meting 3



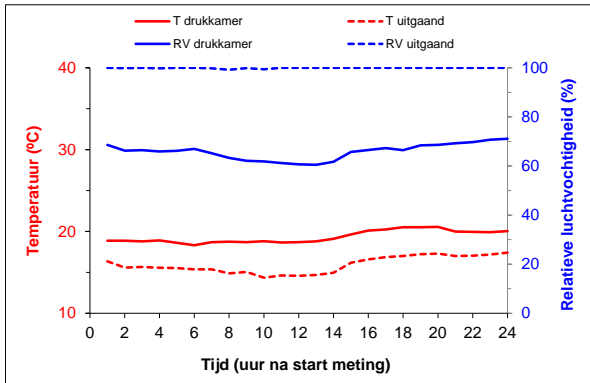
Meting 4



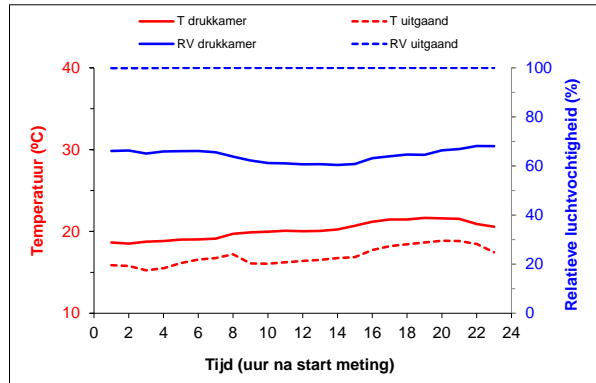
Meting 5

NB: met de donkere balken onder in de figuren worden de momenten aangegeven waarop de droogtunnel draaide.

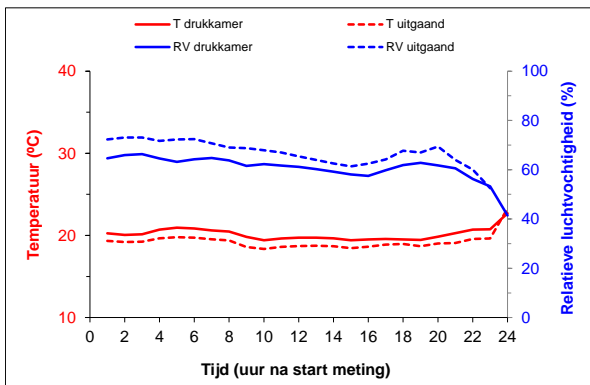
Bijlage D Figuren temperatuur en luchtvochtigheid locatie 2



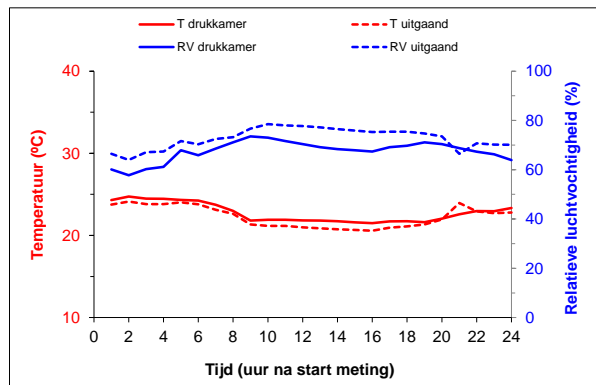
Meting 1



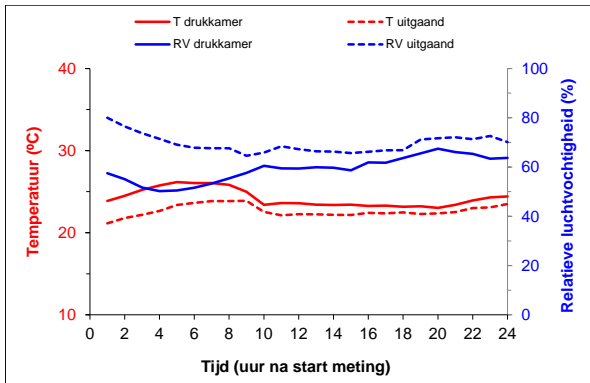
Meting 2



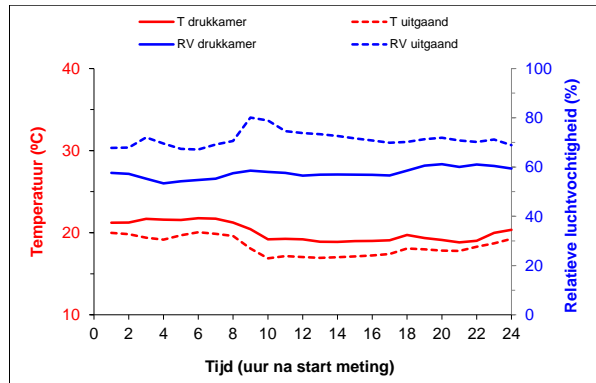
Meting 3



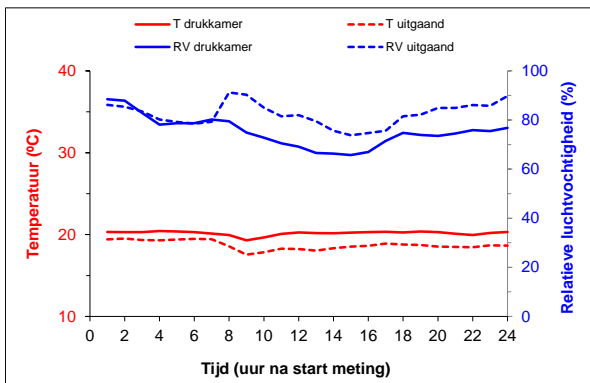
Meting 4



Meting 5

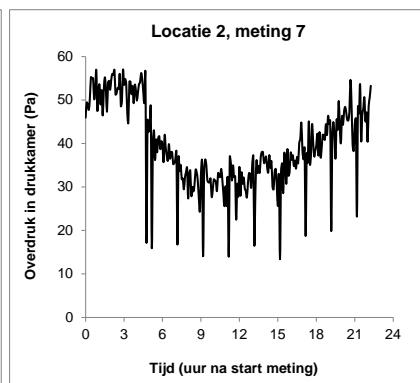
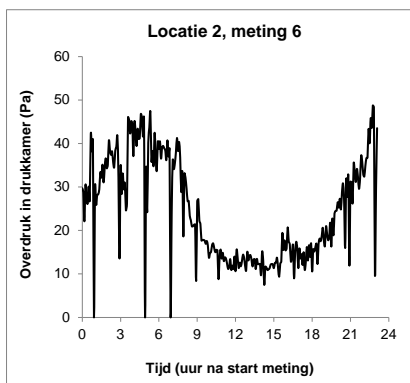
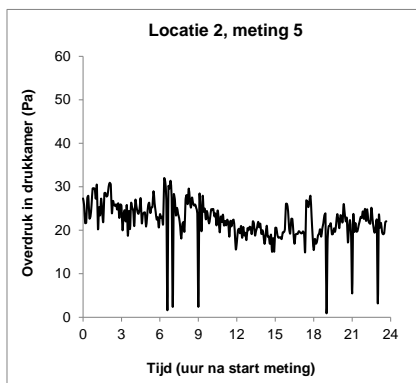
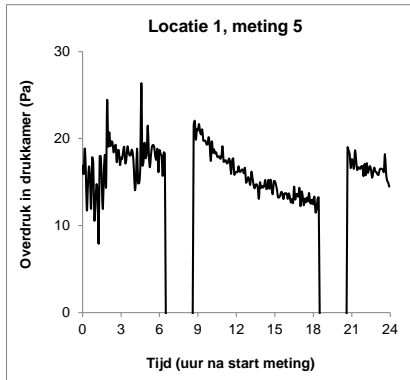
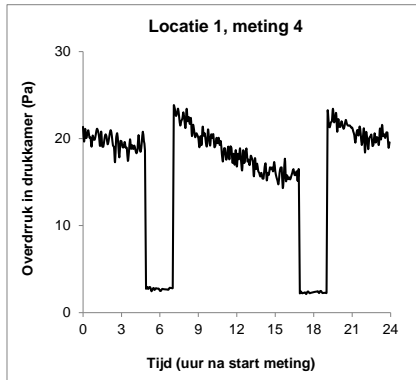


Meting 6



Meting 7

Bijlage E Figuren tijdsverloop in overdruk in drukkamers locaties 1 en 2



Bijlage F Gegevenstabel concentraties, debieten en emissies locatie 1

Parameter	Meting				
	1	2	3	4	5
CO ₂ -concentratie stal/drukkamer (ppm)	1615	1610	1670	1075	1380
CO ₂ -concentratie uit droogtunnel (ppm)	1555	1460	1535	1060	1365
Ventilatie debiet via droogtunnel (m ³ /uur per hen)	1,1	1,1	1,1	1,5	1,1
Ventilatie debiet via bypass uit stal (m ³ /uur per hen)	0,8	0,8	0,7	2,2	1,3
Ventilatie debiet stal + droogtunnel (m ³ /uur per hen)	1,9	1,9	1,8	3,8	2,4
PM10 concentratie stal/drukkamer (mg/m ³)	3,012	2,372	2,399	1,772	2,807
PM10 concentratie uit droogtunnel (mg/m ³)	1,275	1,199	0,891	0,824	0,784
PM10 verwijderingsrendement over droogtunnel (%)	58	49	63	54	72
PM10 emissie vanuit stal (g/dierpl. per jr)	19,6	15,5	13,7	31,4	28,5
PM10 emissie door droogtunnel (g/dierplaats per jr)	11,3	10,6	7,7	9,5	6,6
PM10 emissie stal + droogtunnel (g/dierplaats per jr)	30,9	26,1	21,4	40,9	35,1
PM10 emissie "100% stal" (theoretisch; g/dierpl. per jr)	47,0	37,0	35,4	52,6	53,5
PM10 emissiereductie stal + DT t.o.v. "100% stal" (%)	34	29	39	22	34
NH ₃ concentratie stal/drukkamer (ppm)	18,0	26,4	13,3	7,2	5,6
NH ₃ concentratie uit droogtunnel (ppm)	21,5	28,0	17,7	9,6	11,1
NH ₃ concentratie stal/drukkamer (mg/m ³)	12,8	18,7	9,4	5,1	3,9
NH ₃ concentratie uit droogtunnel (mg/m ³)	15,2	19,8	12,6	6,8	7,9
NH ₃ toevoeging aan drooglucht door droogtunnel (mg/m ³)	2,5	1,1	3,2	1,7	3,9
NH ₃ verwijderingsrendement over droogtunnel (%)	-19	-6	-34	-33	-100
NH ₃ emissie vanuit stal (kg/dierpl. per jr)	0,084	0,124	0,054	0,091	0,040
NH ₃ emissie door droogtunnel (kg/dierplaats per jr)	0,140	0,182	0,115	0,082	0,071
NH ₃ emissie toegevoegd door droogtunnel (kg/dierpl. per jr)	0,023	0,010	0,029	0,021	0,036
NH ₃ emissie stal + droogtunnel (kg/dierplaats per jr)	0,223	0,307	0,169	0,173	0,110
NH ₃ emissie "100% stal" (theoretisch; kg/dierpl. per jr)	0,201	0,297	0,140	0,153	0,074
NH ₃ emissiereductie stal + droogt. t.o.v. "100% stal" (%)	-11	-3	-21	-13	-48
Geur concentratie stal/drukkamer (OU _E /m ³)	909	1408	663	1366	413
Geur concentratie uit droogtunnel (OU _E /m ³)	1340	3398	1799	1279	746
Geur verwijderingsrendement over droogtunnel (%)	-47	-141	-171	6	-81
Geur emissie vanuit stal (OU _E /dierplaats per s)	0,20	0,31	0,13	0,83	0,14
Geur emissie door droogtunnel (OU _E /dierplaats per s)	0,41	1,04	0,55	0,52	0,22
Geur emissie toegevoegd door droogtunnel (OU _E /dierpl. per s)	0,21	0,73	0,42	-0,30	0,08
Geur emissie stal + droogtunnel (OU _E /dierplaats per s)	0,61	1,35	0,68	1,35	0,37
Geur emissie "100% stal" (theoretisch; OU _E /dierpl. per s)	0,48	0,74	0,33	1,38	0,27
Geur emissiereductie stal + droogt. t.o.v. "100% stal" (%)	-28	-82	-105	3	-38
CH ₄ concentratie stal/drukkamer (mg/m ³)	1,8	1,9	1,6	0,9	1,4
CH ₄ concentratie uit droogtunnel (mg/m ³)	1,7	1,8	1,6	0,9	1,2
CH ₄ verwijderingsrendement over droogtunnel (%)	4	7	4	-3	17
N ₂ O concentratie stal/drukkamer (mg/m ³)	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7
N ₂ O concentratie uit droogtunnel (mg/m ³)	0,6	0,8	0,6	0,7	0,7
N ₂ O verwijderingsrendement over droogtunnel (%)	-13	-16	2	-1	-2

Bijlage G Gegevenstabel concentraties, debieten en emissies locatie 2

Parameter	Meting						
	1	2	3	4	5	6	7
CO ₂ -concentratie stal/drukkamer (ppm)	1635	1455	1545	1045	946	1465	1420
CO ₂ -concentratie uit droogtunnel (ppm)	1655	1570	1570	1040	954	1430	1500
Ventilatie-debiet via droogtunnel (m ³ /uur per hen)	1,8	1,6	2,0	2,5	2,5	2,0	2,3
Ventilatie-debiet via bypass uit stal (m ³ /uur per hen)	0,2	0,8	0,1	1,5	2,4	0,3	0,1
Ventilatie-debiet stal + droogtunnel (m ³ /uur per hen)	1,9	2,3	2,1	4,0	4,9	2,3	2,4
PM10 concentratie stal/drukkamer (mg/m ³)	5,146	5,145	6,372	3,654	4,334	4,473	4,284
PM10 concentratie uit droogtunnel (mg/m ³)	1,681	1,612	1,950	1,324	1,641	1,638	1,570
PM10 verwijderingsrendement over droogtunnel (%)	67	69	69	64	62	63	63
PM10 emissie vanuit stal (g/dierpl. per jr)	7,6	32,3	6,3	43,8	82,9	9,9	3,4
PM10 emissie door droogtunnel (g/dierplaats per jr)	23,7	20,0	30,7	25,9	32,3	25,5	27,9
PM10 emissie stal + droogtunnel (g/dierplaats per jr)	31,4	52,3	37,0	69,7	115,2	35,5	31,3
PM10 emissie "100% stal" (theoretisch; g/dierpl. per jr)	82,0	97,7	108,7	117,3	170,0	81,3	81,4
PM10 emissiereductie stal + DT t.o.v. "100% stal" (%)	62	46	66	41	32	56	62
PM2,5 concentratie stal/drukkamer (mg/m ³)	0,279	0,241	0,504	0,279	0,422	0,438	0,269
PM2,5 concentratie uit droogtunnel (mg/m ³)	0,114	0,111	0,307	0,138	0,153	0,184	0,097
PM2,5 verwijderingsrendement over droogtunnel (%)	59	54	39	50	64	58	64
PM2,5 emissie vanuit stal (g/dierpl. per jr)	0,4	1,4	0,5	3,2	7,9	1,0	0,2
PM2,5 emissie door droogtunnel (g/dierplaats per jr)	1,4	1,2	4,7	2,5	2,8	2,7	1,5
PM2,5 emissie stal + droogtunnel (g/dierplaats per jr)	1,8	2,7	5,2	5,7	10,7	3,7	1,7
PM2,5 emissie "100% stal" (theoretisch; g/dierpl. per jr)	4,3	4,4	8,4	8,6	16,2	7,8	4,9
PM2,5 emissiereductie stal + droogt. t.o.v. "100% stal" (%)	57	38	38	33	34	53	65
NH ₃ concentratie stal/drukkamer (ppm)	9,3	10,4	7,2	2,8	2,9	7,9	16,7
NH ₃ concentratie uit droogtunnel (ppm)	21,2	27,5	7,6	7,5	8,3	10,8	19,6
NH ₃ concentratie stal/drukkamer (mg/m ³)	6,6	7,4	5,1	2,0	2,1	5,6	11,8
NH ₃ concentratie uit droogtunnel (mg/m ³)	15,0	19,5	5,4	5,3	5,9	7,7	13,9
NH ₃ toevoeging aan drooglucht door droogtunnel (mg/m ³)	8,4	12,1	0,3	3,3	3,8	2,1	2,1
NH ₃ verwijderingsrendement over droogtunnel (%)	-128	-164	-6	-168	-184	-38	-18
NH ₃ emissie vanuit stal (kg/dierpl. per jr)	0,010	0,046	0,005	0,023	0,038	0,012	0,009
NH ₃ emissie door droogtunnel (kg/dierplaats per jr)	0,217	0,249	0,086	0,106	0,117	0,122	0,254
NH ₃ emissie toegevoegd door droogtunnel (kg/dierpl. per jr)	0,123	0,155	0,005	0,068	0,078	0,034	0,039
NH ₃ emissie stal + droogtunnel (kg/dierplaats per jr)	0,227	0,295	0,091	0,129	0,155	0,134	0,264
NH ₃ emissie "100% stal" (theoretisch; kg/dierpl. per jr)	0,104	0,139	0,086	0,061	0,077	0,100	0,225
NH ₃ emissiereductie stal + droogt. t.o.v. "100% stal" (%)	-118	-112	-5	-112	-100	-34	-17
Geur concentratie stal/drukkamer (OU _E /m ³)	1340	1807	557	498	303	380	570
Geur concentratie uit droogtunnel (OU _E /m ³)	5095	2313	1188	667	533	579	852
Geur verwijderingsrendement over droogtunnel (%)	-280	-28	-113	-34	-76	-52	-49
Geur emissie vanuit stal (OU _E /dierplaats per s)	0,07	0,38	0,02	0,20	0,19	0,03	0,02
Geur emissie door droogtunnel (OU _E /dierplaats per s)	2,46	0,98	0,64	0,45	0,36	0,31	0,52
Geur emissie toegevoegd door droogtunnel (OU _E /dierpl. per s)	2,39	0,60	0,62	0,25	0,16	0,28	0,50
Geur emissie stal + droogtunnel (OU _E /dierplaats per s)	2,52	1,36	0,65	0,65	0,55	0,34	0,53
Geur emissie "100% stal" (theoretisch; OU _E /dierpl. per s)	0,71	1,15	0,32	0,54	0,40	0,23	0,36
Geur emissiereductie stal + droogt. t.o.v. "100% stal" (%)	-254	-19	-107	-21	-39	-46	-47
CH ₄ concentratie stal/drukkamer (mg/m ³)	2,2	2,2	1,6	1,2	1,1	1,7	1,4
CH ₄ concentratie uit droogtunnel (mg/m ³)	2,6	2,3	1,7	1,2	1,2	1,6	1,2
CH ₄ verwijderingsrendement over droogtunnel (%)	-21	-3	-5	-1	-16	3	13
N ₂ O concentratie stal/drukkamer (mg/m ³)	0,7	0,9	0,9	1,1	0,9	1,0	0,7
N ₂ O concentratie uit droogtunnel (mg/m ³)	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,7
N ₂ O verwijderingsrendement over droogtunnel (%)	-3	4	6	19	-9	-1	6



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info@livestockresearch.wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl