



Effect van strooiselverwijdering bij leghennen in volièrehuisvesting op de emissie van ammoniak, geur, broeikasgassen en fijnstof

J. Mosquera, R. van Emous, T. van Hattem, G. Nijeboer, J.M.G. Hol, H.J. van Dooren, N.W.M. Ogink



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Effect van strooiselverwijdering bij leghennen in volièrehuisvesting op de emissie van ammoniak, geur, broeikasgassen en fijnstof

J. Mosquera, R. van Emous, T. van Hattum, G. Nijeboer, J.M.G. Hol, H.J. van Dooren, en N.W.M. Ogink

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema BO-20-004

Wageningen UR Livestock Research
Wageningen, december 2016

Rapport 995

J. Mosquera, R. van Emous, T. van Hattum, G. Nijeboer, J.M.G. Hol, H.J. van Dooren, en N.W.M. Ogink, 2016. *Effect van strooiselverwijdering bij leghennen in volièrehuisvesting op de emissie van ammoniak, geur, broeikasgassen en fijnstof*. Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 995.

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten gerapporteerd van de metingen die in het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) zijn uitgevoerd om het effect van het verwijderen van strooisel (om een dunne strooisel-laag in de stal te realiseren) op de emissie van ammoniak, fijnstof, geur en overige broeikasgassen (methaan, lachgas) bij het huisvesten van leghennen te bepalen. Het verwijderen van strooisel in de stal leidde tot significant lagere NH_3 en PM_{10} -emissies (gemiddeld 20-22% lager). Hoewel in zeven van de negen metingen strooiselverwijdering tot minder geur leidde (~25% emissiereductie), was er geen significant aantoonbaar geurverwijderingseffect. Voor CH_4 en N_2O werd geen significant effect in emissies geconstateerd door het verwijderen van strooisel. Door een dunne strooisel-laag (kleiner dan 2-3 cm) te realiseren zou een NH_3 - en PM_{10} -emissiereductie van 25-35% kunnen worden bereikt.

Summary

This report summarizes the results of measurements performed in the framework of the programmatic Approach nitrogen (PAS) to determine the effect of removing litter from livestock housing of laying hens (to maintain a thin layer of litter in the animal building) on the emission of ammonia, fine dust, odour and greenhouse gases (methane, nitrous oxide). Removing the litter led to significantly lower emissions of NH_3 and PM_{10} (on average 20-22% lower emissions). Although in seven of all nine measurements removing the litter resulted in lower odour emissions (~25% emission reduction), no significant effect was found of removing the litter on odour removal. For CH_4 and N_2O , removing litter did not result in significantly lower emissions. When a thin litter layer (less than 2-3 cm) can be maintained, a reduction of 25-35% in NH_3 and PM_{10} emissions may be achieved.

Dit rapport is gratis te downloaden op <http://dx.doi.org/10.18174/401249> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2016 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wageningenUR.nl/livestockresearch. Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

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



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

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Materiaal en methoden	10
2.1	Meetlocaties	10
2.1.1	Meetlocatie 1	10
2.1.2	Meetlocatie 2	12
2.1.3	Meetlocatie 3	14
2.1.4	Meetlocatie 4	16
2.1.5	Meetlocatie 5	18
2.2	Metingen	20
2.2.1	Meetpunten	20
2.2.2	Meetapparatuur	23
2.2.3	Productiegegevens	26
2.3	Rekenmethoden	27
2.3.1	Ventilatie-debiet	27
2.3.2	Emissies	27
2.3.3	Emissiereductie	28
2.3.4	Statistische analyse	28
3	Resultaten en discussie	29
3.1	Meetomstandigheden	29
3.2	Strooiselmonsters	30
3.3	Ventilatie-debieten	36
3.4	Ammoniak (NH ₃)	37
3.5	Fijnstof (PM ₁₀)	39
3.6	Geur	42
3.7	Methaan (CH ₄)	44
3.8	Lachgas (N ₂ O)	46
4	Conclusies	53
	Literatuur	54
	Bijlage 1 Foto's van de bedrijfssituatie	55
	Bijlage 2 Voersamenstelling	65

Woord vooraf

In het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) is er behoefte om voer- en managementmaatregelen op te nemen die toegepast zouden kunnen worden om de uitstoot van ammoniak (NH_3) te verminderen. Een mogelijke oplossing om de emissie van zowel NH_3 als fijnstof te reduceren is het toepassen van een dunnere strooisel-laag.

In dit rapport worden de resultaten weergegeven van metingen die uitgevoerd zijn om het effect van het verwijderen van strooisel (om een dunne strooisel-laag in de stal te realiseren) op de emissie van ammoniak, fijnstof, geur en overige broeikasgassen (methaan, lachgas) bij het huisvesten van leghennen in de praktijk te bepalen.

Deze studie is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken.

Julio Mosquera, projectleider

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten gerapporteerd van de metingen die in het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) zijn uitgevoerd om het effect van het verwijderen van strooisel (om een dunne strooisel-laag in de stal te realiseren) op de emissie van ammoniak, fijnstof, geur en overige broeikasgassen (methaan, lachgas) bij het huisvesten van leghennen te bepalen. De metingen zijn uitgevoerd volgens het zogenaamde 'case-control in de tijd' strategie binnen dezelfde stal. Aan het begin van een meetperiode werd een 24-uursmeting verricht in de stal zoals aangetroffen, d.w.z. met een dikke strooisel-laag (controle). Daarna werd een deel van de strooisel uit de stal verwijderd, en na een periode van 2-3 dagen een tweede 24-uursmeting uitgevoerd in de stal met een dunne strooisel-laag (case).

NH₃- en PM10-emissies na verwijdering van strooisel (case) waren zwak significant ($0,05 < P < 0,10$) verschillend van de emissies vóór verwijdering van strooisel (controle). De gemiddelde NH₃-emissiereductie door het verwijderen van strooisel in de stal over alle metingen was in onderhavige studie 20 ± 6 %. Voor PM10 werd een gemiddelde emissiereductie van 22 ± 5 % gemeten.

Voor zowel NH₃ als PM10 was de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van de strooisel belangrijker dan de hoeveelheid strooisel die verwijderd werd om emissies te kunnen reduceren. De reductie is groter wanneer de dikte van de strooisel-laag na verwijdering kleiner is dan 2-3 cm. In dat geval kan een NH₃- en PM10-emissiereductie van 25-35% worden bereikt.

Deze studie laat geen significant effect zien door het verwijderen van strooisel in de stal op de geuremissies. Dit komt voornamelijk door de eerste twee meetseries, waar een hogere in plaats van een lagere geuremissies werd gemeten na het verwijderen van het strooisel. De andere zeven meetseries laten zien dat strooiselverwijdering potentie heeft om geuremissies sterk te kunnen reduceren. De gemiddelde emissiereductie van deze zeven metingen was 26 ± 5 %, en het effect was significant ($P < 0,05$). Er is geen direct verband aangetroffen tussen de geuremissie en de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van de strooisel, of tussen de geuremissie en de hoeveelheid strooisel die verwijderd werd.

De data in onderhavige studie laat geen significant effect zien van het verwijderen van strooisel in de stal op de CH₄- en N₂O-emissies. Er is ook geen directe verband aangetroffen tussen deze emissies en de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van de strooisel, of tussen deze emissies en de hoeveelheid strooisel die werd verwijderd.

1 Inleiding

In het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) is er behoefte om voer- en managementmaatregelen op te nemen die toegepast zouden kunnen worden om de uitstoot van ammoniak (NH_3) te verminderen. Aanvullende managementmaatregelen betreffen maatregelen die niet gebonden zijn aan de uitvoering van een stalsysteem, zoals een aangepast lichtregime of de inzet van toevoegmiddelen aan mest. Het is de bedoeling dat belanghebbende partijen deze maatregelen kunnen voorstellen voor opname in bijlage 2 van de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav), op een wijze die vergelijkbaar is met de aanvraag en opname van stalsystemen in bijlage 1 van de Rav via de Technisch adviescommissie Tac-Rav.

In strooiselstallen voor leghennen komt de meeste NH_3 en fijnstof uit de (strooisel)mest (Van Harn et al, 2012). Een mogelijke oplossing om de emissie van zowel NH_3 als fijnstof te reduceren is het toepassen van een dunnere strooisel-laag. In de praktijk varieert de laagdikte van het strooisel van minder dan een centimeter (begin legperiode) tot ruim 10 cm aan het einde van de legperiode (Van Emous et al., 2004). Pluimveehouders geven de voorkeur aan een dunne strooisel-laag (enkele cm's) omdat een dikke laag meer problemen kan geven met buitennesteieren. Het verzamelen van buitennesteieren kost erg veel tijd en ook voor de productkwaliteit zijn buitennesteieren ongewenst. Om de strooisel-laag dun te houden wordt tijdens de legperiode een gedeelte van het strooisel vanuit de gangpaden verwijderd en op de mestband geschept, waarna het strooisel wordt afgevoerd naar de mestopslag. De meeste pluimveehouders met volièrehuisvesting verwijderen tijdens de legperiode twee- tot viermaal handmatig een gedeelte van het strooisel. Enkele pluimveehouders verwijderen frequenter (minimaal vijf- tot zesmaal) het strooisel waardoor de strooisel-laag gemiddeld rond de 2 cm blijft. Na het verwijderen van het strooisel worden geen verse houtkrullen op de stalvloer aangebracht. De laatste jaren zijn, in het kader van arbeidsvermindering, automatische schuiven ontwikkeld om het strooisel onder de stellingen van volièresystemen frequenter te verwijderen.

Het doel van dit onderzoek is door het uitvoeren van emissiemetingen een betere inzicht te krijgen in het potentiële reducerend effect van een dunne strooisel-laag op de emissie van ammoniak, fijnstof, geur en overige broeikasgassen (methaan, lachgas).

2 Materiaal en methoden

In de hierna volgende paragrafen en in de bijlagen wordt een beschrijving gegeven van de stal en de bedrijfssituatie (hoofdstuk 2.1; bijlage 1), van de metingen (hoofdstuk 2.2) en van de wijze van verwerking van de gegevens (hoofdstuk 2.3).

2.1 Meetlocaties

Dit onderzoek is uitgevoerd in vijf leghennenstallen op commerciële bedrijven. Hieronder volgt een beschrijving van de belangrijkste kenmerken van de gemeten stallen.

2.1.1 Meetlocatie 1

De metingen vonden plaats op een pluimveebedrijf in een volièrestal voor leghennen. De stal was in lengterichting in tweeën verdeeld waarbij de metingen plaatsvonden in de linkerkant van de stal (vanuit de voerruimte gezien). De rechterzijde van de stal was identiek aan de linkerzijde maar klimatologisch volledig gescheiden. De dieren in de rechterzijde van de stal hadden uitloop naar buiten terwijl de linkerzijde van de stal dit niet had. In de totale stal was plaats voor in totaal 31.200 leghennen (merk: Brown Nick) die verdeeld waren over de linker- (15.600 stuks) en rechterzijde (15.600 stuks). De dieren werden als 17-weekse leghen in de stal geplaatst en blijven daar tot aan het einde van de legperiode (ca. 80 weken leeftijd). Het begin- en eindgewicht van de dieren is naar schatting respectievelijk 1.500 en 1.900 gram. De gemeten afdeling was 12 m breed en 80 m lang en het vloeroppervlak bestond uit volledig strooisel (ook onder de volière systemen). Voor en achter in de stal was er een serviceruimte van respectievelijk 3,5 en 3 m diep waardoor het effectief benutbare oppervlakte voor de dieren 12 m breed bij 73,5 m lang was. In de stal stonden drie volièressystemen waarvan er twee een geïntegreerd legnest hadden terwijl het derde bestond uit alleen roosters.

Het strooiselmateriaal bestond bij aanvang uit 300 kg gehakseld koolzaadstro. De uiteindelijke leefruimte bestond uit een combinatie van strooiselvloer, roostervloer, plateaus en zitbuizen. Het leefoppervlak was 1.130 cm² per dierplaats en bestond voor 50% uit strooiselruimte en voor 50% uit (kunststof)roostervloer.

De stal werd volledig mechanisch geventileerd waarbij de buitenlucht de stal binnenkwam via inlaatventielen aan de linkerzijde (van voren gezien) van de stal. Alle ventilatoren bevonden zich in het dak van de stal. In totaal waren er 6 ventilatoren (doorsnee van 80 cm) met een capaciteit van 21.000 m³/uur per stuk waarbij de maximaal beschikbare ventilatiecapaciteit van de stal 126.000 m³/uur was. Omgerekend was dit 8,1 m³/uur per hen en dus 4,3 m³/uur per kilogram leghen (volwassen leghen: 1,9 kg). De gewenste hoeveelheid ventilatie was vooral afhankelijk van de buitentemperatuur en de streef temperatuur was ingesteld op 20°C.

Op de verschillende roostervloeren waren voer- en drinklijnen geplaatst. Daarbij waren de voerlijnen in het midden van de roostervloeren geplaatst terwijl de waterlijnen voor het legnest waren geplaatst. In totaal waren er 4 waterlijnen (drinknippels met lekbakjes) en 8 voerbanen (sleepketting). De voer-, water- en lichtvoorziening was volledig geautomatiseerd. Er werd 4 keer per dag voer verstrekt terwijl het water onbeperkt beschikbaar was (zie Bijlage 2 voor voersamenstelling). In de stal waren tussen 04:00 en 20:00 uur de lampen aan.

In tabel 1 worden de belangrijkste kenmerken van de stal benoemd.

Tabel 1 Belangrijkste kenmerken van de onderzochte stal (meetlocatie 1).

Kenmerk	
Huisvestingssysteem	Vencomatic volièresysteem
Leghennen (merk)	Brown Nick (bruin)
Afmetingen stal (lengte [m] x breedte [m])	80 x 12 m (binnenwerks) Volièresysteem was 73,5 m lang door de serviceruimtes voor (3,5 m) en achter (3 m)
Goot- en nokhoogte [m]	2 en 7 m
Oriëntatie van de stal	NO-ZO
Legnesten	2 rijen legnesten geïntegreerd in het volièresysteem
Mestbanden en afdraaien	Ja. Eenmaal per 5 dagen afdraaien
Mestbeluchting en capaciteit [m ³ /uur per dier]	0,5 m ³ /uur per dier (12 uur overdag)
Voersysteem en tijden	Big Dutchman sleepketting. 11:00 / 12:00 / 15:00 / 17:00 (10 minuten per beurt)
Drinkwatersysteem en tijden	Impex nippel 360 graden; onbeperkt
Strooisel (materiaal en aantal kg verstrekt per afdeling)	Gehakseld koolzaadstro, 300 kg aan het begin van de ronde, verder niks meer.
Lichtregime	04:00-20:00 uur licht
Oppervlakte strooisel [m ²]	880 m ²
Oppervlakte roostervloer [m ²]	880 m ²
Totaal leefoppervlak [m ²]	1.760 m ²
Lengte zitstokken [m]	2.350 m
Aantal dierplaatsen	15.600
Leefoppervlak [dieren per m ²]	8,9 dieren/m ²
Luchtinlaat	30 TPI luchtventielen met een capaciteit van 3000 m ³ /uur per ventiel, en 15 TPI luchtventielen met een capaciteit van 1500 m ³ /uur per ventiel
Ventilatiecapaciteit	6 stuks Fancom, doorsnee 80 cm met een capaciteit van 21.000 m ³ /uur
Streeftemperatuur [°C]	20 °C

2.1.2 Meetlocatie 2

De metingen vonden plaats op een pluimveebedrijf in een zogenaamde twee-etage volièrestal voor leghennen. De etages waren gescheiden door een volledig dichte tussenvloer van Betonplex platen (geen luchtuitwisseling tussen de etages). De metingen vonden in de onderste etage plaats. Als huisvestingsstelsel werd het Natura Floor stelsel van Big Dutchman toegepast. In de stal was plaats voor in totaal 35.706 leghennen (merk: Novogen) die verdeeld waren over de onderste (17.706 stuks) en bovenste etage (18.000 stuks). De dieren werden als 18-weekse leghen in de stal geplaatst en blijven daar tot aan het einde van de legperiode (ca. 80 weken leeftijd). Het begin- en eindgewicht van de dieren is naar schatting respectievelijk 1.500 en 1.900 gram. De stal was 23,5 m breed en 79 m lang en het vloeroppervlak bestond uit relatief brede gangpaden (tweemaal 5 m x 79,5 m) aan de buitenkant van de stal die bedekt waren met strooisel. Voor en achter in de stal was er een serviceruimte van respectievelijk 4 en 5 m diep waardoor het effectief benutbare oppervlakte voor de dieren 23,5 m breed bij 70,5 m lang was. Het middengedeelte van de stal bestond uit 2 stellingen met roosters met voer en water met legnesten in het midden van het stelsel. Onder de systemen was geen strooisel onder de stellingen aanwezig.

Het strooiselmateriaal (ca. 1 cm) in de gangpaden bestond bij aanvang uit luzerne. De uiteindelijke leefruimte bestond uit een combinatie van strooiselvloer, roostervloer, plateaus en zitbuizen. Het maximale leefoppervlak was 1.145 cm² per dierplaats en bestond voor 40% uit strooiselruimte en voor 60% uit (kunststof)roostervloer.

De stal werd volledig mechanisch geventileerd (lengteventilatie) waarbij de buitenlucht de stal binnenkwam via inlaatventielen aan beiden lengtezijden van de stal. Aan één kant staat de stal vrij, aan de andere kant grens de stal aan een andere stal voor pluimvee met wintergarten. Alle ventilatoren bevonden zich aan de achterzijden van de stal waarbij aan de buitenkant van de stal een ruimte van 5 m breedte bij 5 m lengte bij 5 m hoogte met damwand was gecreëerd. Hierdoor werd de ventilatielucht niet direct vanuit de stal recht achteruit geblazen maar werd de lucht via de ruimte naar boven geblazen. In totaal waren er 5 ventilatoren van twee verschillende typen per etage in de achterwand geplaatst: 3 ventilatoren met een capaciteit van 35.000 m³/uur per stuk en 2 ventilatoren met een capaciteit van 21.700 m³/uur per stuk. De maximaal beschikbare ventilatiecapaciteit van de stal was daarmee 148.400 m³/uur. Omgerekend was dit 8,2 m³/uur per hen en dus 4,3 m³/uur per kilogram leghen (volwassen leghen: 1,9 kg). De gewenste hoeveelheid ventilatie was vooral afhankelijk van de buitentemperatuur en de streef temperatuur was ingesteld op 21°C.

Op de verschillende roostervloeren waren voer- en drinklijnen geplaatst. Daarbij waren de voerlijnen boven het midden van de roostervloeren geplaatst terwijl de waterlijnen aan de zijkant van het stelsel was geplaatst zodat deze op ongeveer 80 cm vanaf het legnest was geplaatst. In totaal waren er 6 waterlijnen (drinknippels met lekbakjes) en 20 voerbanen (sleepketting) waarvan er 2 niet (boven de legnesten) waren ingeschakeld. De voer-, water- en lichtvoorziening was volledig geautomatiseerd. Er werd 4 keer per dag gevoerd verstrekt terwijl het water onbeperkt beschikbaar was (zie Bijlage 2 voor voersamenstelling). In de stal waren tussen 03:30 en 19:30 uur de lampen aan.

In tabel 2 worden de belangrijkste kenmerken van de stal benoemd.

Tabel 2 Belangrijkste kenmerken van de onderzochte stal (meetlocatie 2).

Kenmerk	
Huisvestingssysteem	Natura Floor van Big Dutchman
Leghennen (merk)	Novogen Brown (bruin)
Afmetingen stal (lengte [m] x breedte [m])	79,5 x 23,5 (binnenwerks). Volièresysteem was 70,5 m lang door de serviceruimtes voor (4 m) en achter (5 m)
Goot- en nokhoogte stal [m]	5,25 en 9,6 m (stal staat 0,5 m onder maaiveld)
Plafondhoogte onderste etage [m]	3,35 m
Oriëntatie van de stal	NW-ZW
Legnesten	2 rijen volièresystemen (van ca. 6 m breed) met geïntegreerde legnesten
Mestbanden en afdraaien	Ja. Dagelijks de helft van de mestbanden afdraaien
Mestbeluchting en capaciteit [m3/uur per dier]	0,7 m3/uur per dier
Voersysteem en tijden	Sleepketting. 03:25-03:45 / 09:35-10:00 / 10:25-10:45 / 16:20-16:50
Drinkwatersysteem en tijden	Drinknippel, onbeperkt
Strooisel (materiaal en aantal kg verstrekt per afdeling)	Luzerne, 105 kg bij aanvang ronde, daarna 15 kg per 4 weken
Lichtregime	03:30 tot 19:30 uur licht. Vanaf 19:05 ging het licht gefaseerd uit om de dieren in het systeem te lokken.
Oppervlakte strooisel [m2]	795 m2
Oppervlakte roostervloer [m2]	1.205 m2
Totaal leefoppervlak [m2]	2.000 m2
Lengte zitstokken [m]	2.700 m2
Aantal dierplaatsen	17.706 stuks (onderste verdieping)
Leefoppervlak [dieren per m2]	9,0 dieren/m2
Luchtinlaat	Ventielen met lamellen
Ventilatiecapaciteit	Fancom: 3 x 35.000 m3/uur + 2 x 21.700 m3/uur.
Streeftemperatuur [°C]	21

2.1.3 Meetlocatie 3

De metingen vonden plaats op een pluimveebedrijf in een zogenaamde twee-etage volièrestal voor leghennen. De etages waren gescheiden door een volledig dichte tussenvloer van Betonplex platen (geen luchtuitwisseling tussen de etages). De metingen vonden in de onderste etage plaats. Als huisvestingsysteem werden 2 rijen van het Veranda systeem (Veranda Aviary) van Vencomatic toegepast. Dit systeem is oorspronkelijk ontwikkeld als groepskooi voor leghennen maar kan ook als volièresysteem worden gebruikt wanneer de deurtjes, die zich aan de buitenkant bevinden, van het systeem worden geopend. Deze deurtjes kunnen gedurende de legperiode in het begin van de nacht gesloten worden zodat de dieren 's morgens in het systeem zitten. Dit kan gebruikt worden om buitennesteieren te voorkomen. Om de beide etages te bereiken zijn aan de zijkant van het systeem trapjes van gaas geplaatst. Aan de binnenkant van het systeem zijn per kooilaag legnesten over de gehele lengte van het systeem geplaatst. In de stal was plaats voor in totaal 22.900 leghennen (merk: LSL) die verdeeld waren over de onderste (11.450 stuks) en bovenste etage (11.450 stuks).

De dieren werden als 18-weekse legghen in de stal geplaatst en blijven daar tot aan het einde van de legperiode (ca. 80 weken leeftijd). Het begin- en eindgewicht van de dieren is naar schatting respectievelijk 1.350 en 1.800 gram. De stal was 13 m breed en 70 m lang waarbij voor- en achterin de stal een serviceruimte was gesitueerd van 4 m diep waarbij de netto vloeroppervlakte 13 m breed bij 62 m lang was.

Het vloeroppervlak bestond uit volledig strooisel. In het midden van de stal stonden twee rijen met het volièresysteem met een smalle tussengang van 60 cm. Onder het volièresysteem is strooisel aanwezig. Het strooiselmateriaal (ca. 1 cm) bestond bij aanvang uit 6 tot 7 balen gehakseld stro. De uiteindelijke leefruimte bestond uit een combinatie van strooiselvloer, roostervloer, plateaus en zitbuizen. Het leefoppervlak was 1.091 m² per dierplaats en bestond voor 65% uit strooiselruimte en voor 35% uit (kunststof)roostervloer.

De stal werd volledig mechanisch geventileerd waarbij de buitenlucht de stal binnenkwam via inlaatventielen aan beiden lengtezijden van de stal. In de rechterzijde van de stal bevonden zich 4 ventilatoren met een maximale capaciteit van 35.000 m³/uur (bij 0 Pa) per stuk. Alle 4 ventilatoren draaiden altijd op hetzelfde niveau waarbij de eerste ventilator een meetventilator had voor de terugkoppeling van de ventilatiehoeveelheid. Er was dus in deze stal sprake van een soort van dwarsventilatie. Dit werd gedaan omdat er een droogtunnel was geplaatst naast de stal waarbij gebruik werd gemaakt van de ventilatielucht om de mest op de banden van de droogtunnel te drogen. Tijdens de metingen was deze tunnel in verband met reparatiewerkzaamheden en onderhoud niet in gebruik. Aan de achterzijde van de stal waren nog 2 ventilatoren met een maximale capaciteit van 50.000 m³/uur (bij 0 Pa) per stuk geïnstalleerd die alleen ingeschakeld werd bij hoge staltemperaturen (> 25°C). De maximaal beschikbare ventilatiecapaciteit van de stal kwam daarmee in totaal op 240.000 m³/uur. In de praktijk zal dit netto ongeveer 200.000 m³/uur opleveren aan maximale capaciteit. De gewenste hoeveelheid ventilatie was vooral afhankelijk van de buitentemperatuur en de streef temperatuur was ingesteld op 20°C.

Op de verschillende roostervloeren waren voer- en drinklijnen geplaatst. Per rooster waren 2 voerlijnen en 1 waterlijn (voor het legnest) gesitueerd. In totaal waren er 4 waterlijnen (drinknippels met lekbakjes) en 8 voerbanen (sleepketting). De voer-, water- en lichtvoorziening was volledig geautomatiseerd. Er werd 4 keer per dag gevoerd (zie bijlage 2 voor voersamenstelling). Het water was onbeperkt beschikbaar. In de stal waren tussen 05:00 en 18:30 uur de lampen aan.

In tabel 3 worden de belangrijkste kenmerken van de stal benoemd.

Tabel 3 Belangrijkste kenmerken van de onderzochte stal (meetlocatie 3).

Kenmerk	
Huisvestingssysteem	Veranda Aviary van Vencomatic
Leghennen (merk)	Lohman LSL (wit)
Afmetingen stal (lengte [m] x breedte [m])	70 x 13 m (binnenwerks). Volièresysteem was 62 m lang door de serviceruimtes voor en achter (elk 4 m) en 11 m breed.
Goot- en nokhoogte stal [m]	2 en 7 m
Plafondhoogte onderste etage [m]	2,6 m
Oriëntatie van de stal	W-O
Legnesten	Per etage van het volièresysteem was een rij legnesten geplaatst. Dus in totaal 4 rijen.
Mestbanden en afdraaien	Normaal driemaal daags i.v.m. droogtunnel. Die was tijdens de metingen niet in bedrijf. Daarom werd tijdens de metingen alleen op zaterdag afgedraaid.
Mestbeluchting en capaciteit [m ³ /uur per dier]	Mest op de banden werd belucht met 0,2 m ³ /uur per dier.
Voersysteem en tijden	Sleepketting. 07:30 / 11:25 / 12:25 / 16:00. Er zijn 10 voerlijnen aanwezig.
Drinkwatersysteem en tijden	Drinknippels, onbeperkt
Strooisel (materiaal en aantal kg verstrekt per afdeling)	6 tot 7 balen gehakseld stro bij aanvang van de koppel. Daarna per 6-8 weken weer aanvullen.
Lichtregime	05:00-18:30 uur licht
Oppervlakte strooisel [m ²]	806 m ²
Oppervlakte roostervloer [m ²]	444 m ²
Totaal leefoppervlak [m ²]	1.250 m ²
Lengte zitstokken [m]	1.740 m
Aantal dierplaatsen	11.450 stuks per etage, 22.900 stuks totaal
Leefoppervlak [dieren per m ²]	9,2 dieren/m ²
Luchtinlaat	Inlaatventielen aan beide kanten van de stal
Ventilatiecapaciteit	4 ventilatoren in de rechter zijwand (35.000 m ³ /uur). In de achterwand 2 ventilatoren met (50.000 m ³ /uur).
Streeftemperatuur [°C]	20

2.1.4 Meetlocatie 4

De metingen vonden plaats op een pluimveebedrijf in een zogenaamde twee-etage volièrestal voor leghennen. De etages waren gescheiden door een volledig dichte tussenvloer van Betonplex platen (geen luchtuitwisseling tussen de etages). De metingen vonden in de onderste etage plaats. Als huisvestingsstelsel was een volièrestelsel van Farmer Automatic geïnstalleerd. De stal bestond uit twee relatief brede gangpaden aan beide zijden van de stal met 2 volièrestelsels met geïntegreerde legnesten. In het midden van de stal was een legnest geplaatst met aan beide zijden een roostervloer vlak boven de grond met mestbanden onder het rooster (een soort scharrelopstelling) en boven het rooster was links en rechts van het midden (legnest) een volièrestelling geplaatst. In de stal was plaats voor in totaal 47.800 leghennen (merk: Novogen bruin) die verdeeld waren over de onderste (23.900 stuks) en bovenste etage (23.900 stuks). De dieren werden als 18-weekse leghen in de stal geplaatst en blijven daar tot aan het einde van de legperiode (ca. 80 weken leeftijd). Het begin- en eindgewicht van de dieren is naar schatting respectievelijk 1.500 en 1.900 gram. De stal was 21,5 m breed en 100 m lang waarbij voor en achterin de stal een serviceruimte was gesitueerd van elk 3,5 m diep waardoor de netto vloeroppervlakte 21,5 m breed bij 93 m lang was.

Het vloeroppervlak bestond voor 77% uit strooisel. Onder de buitenste volièrestelsels was dus strooisel aanwezig. Het strooiselmateriaal (ca. 1 cm) bestond bij aanvang uit gehakseld stro. De uiteindelijke leefruimte bestond uit een combinatie van strooiselvloer, roostervloer, plateaus en zitbuizen. Het leefoppervlak was 1.120 cm² per dierplaats en bestond voor 58% uit strooiselruimte en voor 42% uit (kunststof)roostervloer.

De stal werd volledig mechanisch geventileerd waarbij de buitenlucht de stal binnenkwam via inlaatventielen aan beiden lengtezijden van de stal (20 stuks per zijde). In de rechterzijde van de stal bevond zich 1 ventilator met een maximale capaciteit van 30.000 m³/uur die continue stallucht naar de droogtunnel blies. Aan de achterzijde van de stal waren 4 ventilatoren met een maximale capaciteit van 40.000 m³/uur per stuk geïnstalleerd die via een cascade regeling werden ingeschakeld. Dit betekent dat de ventilatoren achter elkaar werden ingeschakeld afhankelijk van de ventilatiebehoefte. Daarnaast werden de ventilatoren niet via een vaste volgorde ingeschakeld maar werd dit willekeurig gedaan. De maximaal beschikbare ventilatiecapaciteit van de stal was totaal 190.000 m³/uur. Omgerekend was dit 7,9 m³/uur per hen en dus 4,2 m³/uur per kilogram leghen (volwassen leghen van 1,9 kg). De gewenste hoeveelheid ventilatie was vooral afhankelijk van de buitentemperatuur en de streef temperatuur was ingesteld op 19,5°C.

Op alle roostervloeren was 1 voerlijn (sleepketting) en dus 2 voerbanen gesitueerd en voor de gehele stal betekende dit dat er 14 voerbanen waren. Voor de legnesten was het watersysteem geïnstalleerd (drinknippels met lekbakjes) waardoor er 6 waterlijnen waren. De voer-, water- en lichtvoorziening was volledig geautomatiseerd. Er werd 5 keer per dag gevoerd (zie bijlage 2 voor voersamenstelling). Het water was onbeperkt beschikbaar. In de stal waren tussen 04:30 en 19:00 uur de lampen aan.

In tabel 4 worden de belangrijkste kenmerken van de stal benoemd.

Tabel 4 Belangrijkste kenmerken van de onderzochte stal (meetlocatie 4).

Kenmerk	
Huisvestingssysteem	Farmer Automatic volièresysteem
Leghennen (merk)	Novogen Brown (bruin)
Afmetingen stal (lengte [m] x breedte [m])	100 x 21,5 m (binnenwerks). Volièresysteem was 93 m lang door de serviceruimtes voor en achter (elk 3,5 m)
Goot- en nokhoogte stal [m]	4,2 m en 9,0 m
Plafondhoogte onderste etage [m]	2,8 m
Oriëntatie van de stal	N-Z
Legnesten	Per volièresysteem en in het midden van de stal was een rij legnesten geplaatst. Dus in totaal 3 rijen.
Mestbanden en afdraaien	Tweemaal daags i.v.m. droogtunnel (ochtend en middag)
Mestbeluchting en capaciteit [m ³ /uur per dier]	Mest op de banden werd niet belucht.
Voersysteem en tijden	Sleepketting. 05:00 / 10:00 / 12:00 / 14:00 / 16:00
Drinkwatersysteem en tijden	Drinknippels voor legnest, onbeperkt
Strooisel (materiaal en aantal kg verstrekt per afdeling)	Gehakseld stro (40 kg per 1000 kippen aan het begin van de ronde)
Lichtregime	04:30-19:30 uur licht
Oppervlakte strooisel [m ²]	1.545 m ²
Oppervlakte roostervloer [m ²]	1.125 m ²
Totaal leefoppervlak [m ²]	2.670 m ²
Lengte zitstokken [m]	3.600 m
Aantal dierplaatsen	23.900 stuks per etage, 47.800 stuks totaal
Leefoppervlak [dieren per m ²]	9,0 dieren/m ²
Luchtinlaat	Luchtinlaten aan beide kanten van de stal (20 stuks per kant)
Ventilatiecapaciteit	1 ventilator in de zijwand rechts (voor de droogtunnel: capaciteit 30.000 m ³ /uur, geplaatst op circa 15 m van de achterkant van de stal). In de achterwand 4 ventilatoren van 40.000 m ³ /uur (cascade regeling).
Streeftemperatuur [°C]	19,5

2.1.5 Meetlocatie 5

De metingen vonden plaats op een pluimveebedrijf met meerdere stallen voor leghennen. Als huisvestingsstelsel in de gemeten stal was een volièresstelsel van Big Dutchman (Natura Colony) geïnstalleerd. De stal bestond uit twee relatief brede (1,8 m) gangpaden aan beide buitenzijden van de stal met 2 volièresstelsels met geïntegreerde legnesten. In het midden van de stal tussen de volièresstelsels was een gang van 1,4 m breed. In de stal was plaats voor in totaal 9036 leghennen (merk: Brown Nick bruin). De dieren werden als 18-weekse leghen (6 oktober 2014) in de stal geplaatst en blijven daar tot aan het einde van de legperiode 23 juni 2016. Het begin- en eindgewicht van de dieren is naar schatting respectievelijk 1.500 en 1.950 gram. De stal was 9,9 m breed en 55 m lang waarbij voor en achterin de stal een serviceruimte was gesitueerd van 1,8 en 2,5 m diep waardoor de netto vloeroppervlakte 502 m² bedroeg (9,9 m bij 50,7 m).

Het vloeroppervlak bestond voor 100% uit strooisel. Het strooiselmateriaal (ca. 1 cm) bestond bij aanvang uit houtkrullen. De uiteindelijke leefruimte bestond uit een combinatie van strooiselvloer, roostervloer, plateaus en zitbuizen. Het leefoppervlak was 1.120 cm² per dierplaats en bestond voor 58% uit strooiselruimte en voor 42% uit (kunststof)roostervloer. De mest werd met behulp van mestbanden minimaal 1 keer per 5 dagen uit de stal verwijderd.

De stal werd volledig mechanisch geventileerd waarbij de buitenlucht de stal binnenkwam via inlaatventielen aan de noordzijde van de stal. In de zuidzijde van de stal (ongeveer op de helft van de lengte van de stal) bevonden zich 2 ventilatoren met een maximale capaciteit van 41.000 m³/uur die continue stallucht naar buiten blies. De maximaal beschikbare ventilatiecapaciteit van de stal was totaal 82.000 m³/uur. Omgerekend was dit 7,9 m³/uur per hen en dus 4,2 m³/uur per kilogram leghen (volwassen leghen van 1,9 kg). De gewenste hoeveelheid ventilatie was vooral afhankelijk van de buitentemperatuur en de streef temperatuur was ingesteld op 20,0°C.

Per stelling waren 5 voerlijnen en 3 waterlijnen (drinknippels met lekbakjes) geïnstalleerd. De voer-, water- en lichtvoorziening was volledig geautomatiseerd. Er werd 5 keer per dag gevoerd (zie bijlage 2 voor voersamenstelling). Het water was onbeperkt beschikbaar. In de stal waren tussen 04:00 en 20:00 uur de lampen aan.

In tabel 5 worden de belangrijkste kenmerken van de stal benoemd.

Tabel 5 Belangrijkste kenmerken van de onderzochte stal (meetlocatie 5).

Kenmerk	
Huisvestingssysteem	Big Dutchman: Natura Colony volièresysteem
Leghennen (merk)	Brown Nick (bruin)
Afmetingen stal (lengte [m] x breedte [m])	50,7 x 9,9 m (binnenwerks). Voor en achter ca. 2 m extra loze ruimte
Goot- en nokhoogte stal [m]	2,0 m en 4,5 m
Plafondhoogte onderste etage [m]	n.v.t.
Oriëntatie van de stal	W-O
Legnesten	Per volièrestelling was een rij legnesten geplaatst. Dus in totaal 2 rijen.
Mestbanden en afdraaien	Twee per stelling. Onder de roosters. Normaal 1 keer per 5 dagen.
Mestbeluchting en capaciteit [m ³ /uur per dier]	0,6 m ³ /leghen/uur (kan maximaal tot 1,1 m ³ /leghen/uur maar staat niet voluit).
Voersysteem en tijden	Sleepketting. 04:30 (1 ^{ste} keer) na 11:00 uur nog vier verdeeld over de middag (11:00, 13:00, 15:00 en 17:00 uur).
Drinkwatersysteem en tijden	Nippelsysteem met lekbakjes. 04:00 tot 19:00 uur.
Strooisel (materiaal en aantal kg verstrekt per afdeling)	Bij aanvang 6 baal houtvezel a 15 kg Daarna Lucerne (4 baal (15 kg) per 4 weken).
Lichtregime	04:00 tot 20:00 uur licht
Oppervlakte strooisel [m ²]	502
Oppervlakte roostervloer [m ²]	502
Totaal leefoppervlak [m ²]	1003
Lengte zitstokken [m]	1365
Aantal dierplaatsen	9036
Leefoppervlak [dieren per m ²]	9,0
Luchtinlaat	Via ventielen aan de noordzijde van de stal
Ventilatiecapaciteit	2 ventilatoren met een maximale capaciteit van 41.000 m ³ /uur, in de zuidzijde van de stal (ongeveer op de helft van de lengte van de stal)
Streeftemperatuur [°C]	20,0

2.2 Metingen

In dit onderzoek zijn in alle onderzochte stallen waarnemingen verricht aan ammoniak (NH_3), geur, overige broeikasgassen (methaan (CH_4) en lachgas (N_2O)), fijnstof (PM_{10}), ventilatiedebiet, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, dikte strooisel-laag. Tevens zijn de technische resultaten van de hennen vastgelegd. Wat betreft de meetstrategie is bij de emissiemetingen voor ammoniak (NH_3), geur, fijn stof (PM_{10}), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) zoveel mogelijk aangesloten bij de protocollen zoals beschreven in respectievelijk Ogink e.a. (2014), Ogink (2011), Ogink e.a. (2011), Groenestein e.a. (2011) en Mosquera e.a. (2011). Om redenen die hierna worden toegelicht zijn de metingen in drie series uitgevoerd. Bij de eerste serie metingen zijn alleen NH_3 en PM_{10} gemeten, bij de andere twee series zijn ook geur- en broeikasgas-emissiemetingen uitgevoerd. Daarnaast is voor het meten van PM_{10} een andere meetmethode toegepast (zie 2.2.2).

De metingen zijn uitgevoerd volgens het zogenaamde 'case-control in de tijd' strategie binnen dezelfde stal. Aan het begin van een meetperiode werd een 24-uursmeting verricht in de stal zoals aangetroffen, d.w.z. met een dikke strooisel-laag (controlemeting). Daarna werd een deel van de strooisel uit de stal verwijderd, en na een periode van 2-3 dagen een tweede 24-uursmeting uitgevoerd in de stal met een dunne strooisel-laag (proefmeting). Door de uitbraak van vogelpest eind 2014 moest de planning van de metingen worden aangepast, waardoor een aantal metingen in 2015 uitgevoerd moest worden. Bij meetlocatie 1 en 3 is begin 2015 een schuifstelsel geplaatst, waardoor bij deze twee meetlocaties alleen twee in plaats van de ingeplande drie metingen konden worden uitgevoerd. Daarom is er voor gekozen om aanvullend op een vijfde locatie metingen uit te voeren. Deze metingen zijn in het najaar van 2015, het voorjaar van 2016 en de zomer van 2016 uitgevoerd.

2.2.1 Meetpunten

Meetlocatie 1

Op deze locatie komt de lucht naar binnen door inlaatventielen verdeeld over de lange zijde aan beide kanten van de stal (zie hoofdstuk 2.1). De NH_3 -achtergrondconcentratie werd aan één kant van de stal in duplo (nat-chemisch; zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. De achtergrondconcentratie voor PM_{10} werd aan één kant van de stal (in enkelvoud met een optisch instrument bij de eerste series metingen, in duplo gravimetrisch bij de tweede series metingen; zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. De achtergrondconcentratie voor CH_4 , N_2O en CO_2 werd aan één kant van de stal in enkelvoud met de longmethode gemeten. Daarnaast werd de CO_2 -concentratie ook in enkelvoud met een fotoakoestische monitor (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. Voor geur werden geen achtergrondconcentraties gemeten, aangezien geuremissies niet voor achtergrondconcentraties kunnen worden gecorrigeerd. Aan dezelfde kant van de stal werd ook de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2).

De stal wordt door middel van zes nok-ventilatoren geventileerd (zie hoofdstuk 2.1). De concentratie van de uitgaande stallucht werd gedurende series 1 op twee meetpunten (bij kokers 3 en 4, midden in de stal) gemeten. Aangezien de gemeten concentraties bij beide kokers vergelijkbaar waren, is het voor de tweede series metingen gekozen om alleen bij een van de kokers (koker 3) te meten. Voor NH_3 werd op de gekozen meetpunten de stalconcentratie in duplo nat-chemisch gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2). Voor PM_{10} werd op de gekozen meetpunten de stalconcentratie tijdens de eerste serie metingen in enkelvoud met een optisch instrument gemeten, en tijdens de tweede serie metingen gravimetrisch (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. Tijdens meetserie 1 werd de CO_2 -stalconcentratie bij een van de kokers (koker 4) in duplo gemeten (longmethode; zie hoofdstuk 2.2.2), bij de andere koker (koker 3) in enkelvoud met de longmethode, en in enkelvoud met een fotoakoestische monitor (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. Tijdens meetserie 2 werd de geur-, CH_4 -, N_2O -stalconcentratie bij alleen een van de kokers (koker 3) in duplo gemeten. CO_2 werd of in duplo (longmethode), of in enkelvoud met zowel de longmethode en een fotoakoestische monitor gemeten.

Bij de gekozen meetpunten werd ook de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de stallucht gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2).

De dikte van de strooisellaag werd voorafgaand aan de metingen op twintig verschillende plaatsen in de stal gemeten: tien op de gangpad, en tien op de roostergedeelten (zie hoofdstuk 2.2.2). Op deze plekken werd een strooiselmonster genomen, en gemengd om twee mengmonsters te maken, één voor de gangpad, en één voor de roostergedeelten.

Meetlocatie 2

Op deze locatie komt de lucht naar binnen door inlaatventielen verdeeld over de lange zijde aan beide kanten van de stal (zie hoofdstuk 2.1). Aan één kant staat de stal vrij (weiland), aan de andere kant grenst de stal aan een andere stal voor pluimvee met wintergarten. Om deze reden is er voor gekozen om aan beide kanten van de stal 1 meetpunt te plaatsen (op ongeveer 1/3 van de lengte van de stal gerekend vanaf de voorkant van de stal) om de achtergrondconcentratie te meten. De NH_3 -achtergrondconcentratie werd aan beide zijden in duplo (nat-chemisch; zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. De achtergrondconcentratie voor PM_{10} werd aan beide kanten van de stal tijdens meetserie 1 in enkelvoud met een optisch instrument en tijdens meetserie 2 en 3 in duplo gravimetrisch (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. De achtergrondconcentratie voor CO_2 , CH_4 en N_2O (CH_4 en N_2O alleen bij meetserie 2 en 3) werd aan beide zijden in enkelvoud (longmethode; zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. Aan de kant van de stal die grenst aan een andere stal werd een extra CO_2 -concentratiemeting uitgevoerd met behulp van een fotoakoestische monitor (zie hoofdstuk 2.2.2). Voor geur werden geen achtergrondconcentraties gemeten, aangezien geuremissies niet voor achtergrondconcentraties kunnen worden gecorrigeerd. Aan deze kant van de stal werd ook de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2).

De stal wordt door middel van vijf ventilatoren (drie grotere onder en twee kleinere boven) in de lengte geventileerd (zie hoofdstuk 2.1). De concentratie van de uitgaande stallucht werd op twee meetpunten (één vóór een grote ventilator, en één vóór een kleine ventilator) gemeten. Voor NH_3 werd op beide meetpunten de stalconcentratie in enkelvoud nat-chemisch gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2). Voor PM_{10} werd op beide meetpunten de stalconcentratie tijdens meetserie 1 in enkelvoud met een optisch instrument en tijdens meetserie 2 en 3 in enkelvoud gravimetrisch (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. Voor geur, CH_4 , N_2O (tijdens meetserie 2 en 3) en CO_2 (alle drie meetseries) werd op beide meetpunten de stalconcentratie in enkelvoud gemeten (longmethode; zie hoofdstuk 2.2.2). Op de meetpunt bij de grote ventilator werd de CO_2 concentratie ook met een fotoakoestische monitor (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. Bij deze ventilator werd ook de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de stallucht gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2).

De dikte van de strooisellaag werd voorafgaand aan de metingen op twintig verschillende plaatsen in de stal gemeten: tien op de gangpad, en tien op de roostergedeelten (zie hoofdstuk 2.2.2). Op deze plekken werd een strooiselmonster genomen, en gemengd om twee mengmonsters te maken, één voor de gangpad, en één voor de roostergedeelten.

Meetlocatie 3

Op deze locatie komt de lucht naar binnen door inlaatventielen verdeeld over de lange zijde aan beide kanten van de stal (zie hoofdstuk 2.1). Aan beide kanten grenst de stal aan een andere stal voor pluimvee. Echter, een van deze kanten is meestal dicht. De NH_3 -achtergrondconcentratie werd daardoor aan één kant van de stal (bij de inlaatopeningen dicht bij de meetpunten voor de uitgaande stallucht, maar aan de buitenkant van de stal) in duplo (nat-chemisch; zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. De achtergrondconcentratie voor PM_{10} werd op één meetpunt aan één kant van de stal in enkelvoud met een optisch instrument (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. De achtergrondconcentratie voor CO_2 , CH_4 en N_2O (CH_4 en N_2O alleen bij meetserie 2 en 3) werd in enkelvoud met de longmethode gemeten. De CO_2 -concentratie werd ook in enkelvoud met een fotoakoestische monitor gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2). Voor geur werden geen achtergrondconcentraties gemeten, aangezien geuremissies niet voor achtergrondconcentraties kunnen worden gecorrigeerd. De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht werd op een meetpunt aan een kant van de stal gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2).

De stal wordt door middel van vier ventilatoren in een van de zijwanden geventileerd. Daarnaast zijn er twee ventilatoren in de achterwand die gebruik worden voor heel warm weer (zie hoofdstuk 2.1). Tijdens de metingen waren deze ventilatoren niet in gebruik. De concentratie van de uitgaande stallucht werd op twee meetpunten (bij koker 1 en bij koker 3; zie hoofdstuk 2.1) gemeten. Voor NH₃ werd op beide meetpunten de stalconcentratie in duplo nat-chemisch gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2). Voor PM₁₀ werd op beide meetpunten de stalconcentratie tijdens meetserie 1 in enkelvoud met een optisch instrument, en tijdens meetserie 2 en 3 in duplo gravimetrisch (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. Voor geur, CH₄, N₂O (tijdens meetserie 2 en 3) en CO₂ (alle drie meetseries) werd bij koker 3 de stalconcentratie in enkelvoud met de longmethode gemeten. Bij koker 1 werd de geur-, CH₄-, N₂O- en CO₂-concentratie in enkelvoud met de longmethode gemeten (geur, CH₄ en N₂O alleen bij meetserie 2 en 3). Daarnaast werd de CO₂-concentratie ook in enkelvoud met een fotoakoestische monitor gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2). Bij deze koker werd ook de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de stallucht gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2).

De dikte van de strooisellaag werd voorafgaand aan de metingen op twintig verschillende plaatsen in de stal gemeten: tien op de gangpad, en tien op de roostergedeelten (zie hoofdstuk 2.2.2). Op deze plekken werd een strooiselmonster genomen, en gemengd om twee mengmonsters te maken, één voor de gangpad, en één voor de roostergedeelten.

Meetlocatie 4

Op deze locatie komt de lucht naar binnen door inlaatventielen verdeeld over de lange zijde aan beide kanten van de stal (zie hoofdstuk 2.1). Aan beide kanten grenst de stal aan een andere stal voor pluimvee. Aan een kant van de stal is een droogtunnel geplaatst. Aan die kant van de stal werd de NH₃-achtergrondconcentratie vlakbij de droogtunnel in duplo gemeten (nat-chemisch; zie hoofdstuk 2.2.2). De CH₄-, N₂O- en CO₂-concentratie werd aan deze kant van de stal in enkelvoud met de longmethode gemeten (CH₄ en N₂O alleen tijdens meetserie 2 en 3). CO₂ werd ook in enkelvoud met een fotoakoestische monitor gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2). De PM₁₀-achtergrondconcentratie werd in enkelvoud met een optisch instrument (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. Voor geur werden geen achtergrondconcentraties gemeten, aangezien geuremissies niet voor achtergrondconcentraties kunnen worden gecorrigeerd.

Aan de andere kant van de stal werd de NH₃-achtergrondconcentratie in duplo gemeten (nat-chemisch; zie hoofdstuk 2.2.2). De CH₄-, N₂O- en CO₂-concentratie werd aan deze kant van de stal ook in duplo gemeten (longmethode; zie hoofdstuk 2.2.2; CH₄ en N₂O alleen tijdens meetserie 2 en 3). Voor PM₁₀ werd de achtergrondconcentratie in enkelvoud met een optisch instrument (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht werd buiten de stal aan de achterkant van de stal gemeten.

De stal wordt door middel van drie ventilatoren in een van de zijwanden (vóór de droogtunnel, aan de achterkant van de stal) en vier ventilatoren (aan de achterkant van de stal) geventileerd (zie hoofdstuk 2.1). De concentratie van de uitgaande stallucht werd op één meetpunt (bij één van de kokers vóór de droogtunnel; zie hoofdstuk 2.1) gemeten. Voor NH₃ werd de stalconcentratie in duplo nat-chemisch gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2). Voor PM₁₀ werd de stalconcentratie tijdens meetserie 1 in enkelvoud met een optisch instrument en tijdens meetserie 2 en 3 in duplo gravimetrisch (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. Tijdens meetserie 1 werd de CO₂-stalconcentratie in enkelvoud met de longmethode en in enkelvoud met een fotoakoestische monitor gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2). Tijdens meetserie 2 en 3 werden de geur-, CH₄-, N₂O- en CO₂-stalconcentraties in duplo met de longmethode gemeten. Hier werd ook de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de stallucht gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2).

De dikte van de strooisellaag werd voorafgaande aan de metingen op twintig verschillende plaatsen in de stal gemeten: tien op de gangpad, en tien op de roostergedeelten (zie hoofdstuk 2.2.2). Op deze plekken werd een strooiselmonster genomen, en gemengd om twee mengmonsters te maken, één voor de gangpad, en één voor de roostergedeelten.

Meetlocatie 5

Op deze locatie komt de lucht naar binnen door inlaatventielen verdeeld over de noordzijde van de stal (zie hoofdstuk 2.1). Aan die kant van de stal werd de NH_3 -achtergrondconcentratie in duplo gemeten (nat-chemisch; zie hoofdstuk 2.2.2). De CH_4 -, N_2O - en CO_2 -concentratie werd aan deze kant van de stal in duplo met de longmethode gemeten. De PM_{10} -achtergrondconcentratie werd in duplo gravimetrisch (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. Voor geur werden geen achtergrondconcentraties gemeten, aangezien geuremissies niet voor achtergrondconcentraties kunnen worden gecorrigeerd.

De stal wordt door middel van twee ventilatoren in een van de zijwanden (midden in de stal) geventileerd (zie hoofdstuk 2.1). De concentratie van de uitgaande stallucht werd op beide ventilatiekokers gemeten. Voor zowel NH_3 , PM_{10} , geur, CO_2 , CH_4 en N_2O werd per meetpunt (ventilatiekoker) de stalconcentratie in enkelvoud (duplo-meting, aangezien beide ventilatoren dicht bij elkaar zitten) gemeten. Voor NH_3 werd de nat-chemische methode (zie hoofdstuk 2.2.2) toegepast, PM_{10} werd gravimetrisch (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. Geur, CH_4 , N_2O en CO_2 werden met behulp van de longmethode (zie hoofdstuk 2.2.2) gemeten. Hier werd ook de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid van de stallucht gemeten (zie hoofdstuk 2.2.2).

De dikte van de strooisellaag werd voorafgaand aan de metingen op vijftientig verschillende plaatsen in de stal gemeten: vijftien op de gangpad, en tien onder de stellingen (zie hoofdstuk 2.2.2). Op deze plekken werd een strooiselmonster genomen, en gemengd om twee mengmonsters te maken, één voor de gangpad, en één voor de roostergedeelten.

2.2.2 Meetapparatuur

Nat-chemisch (NH_3)

Bij deze methode (Wintjes, 1993) wordt lucht via een monsternamleiding met een constante luchtstroom ($\sim 1,0$ l/min) aangezogen met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een kritische capillair die een luchtstroom geeft van $\sim 1,0$ l/min. Alle lucht wordt door een impinger (geplaatst in een wasfles met 100 ml 0,05 M salpeterzuur) geleid, waarbij de NH_3 wordt opgevangen. Om rekening te houden met eventuele doorslag wordt een tweede fles in serie geplaatst. Om doorslag naar de pomp te voorkomen wordt de lucht na de impingers met zuur door een vochtvanger (impinger zonder vloeistof) geleid (Figuur 1). Na de bemonsteringstijd wordt de concentratie gebonden NH_3 spectrofotometrisch bepaald. Voor en na de meting werd de exacte luchtstroom bepaald met behulp van een flowmeter (Defender 510-m, Bios Int. Corp, USA). Door de bemonsteringsduur, de bemonsteringsflow, het NH_4^+ gehalte en de hoeveelheid opvangvloeistof te verrekenen kan de NH_3 -concentratie in de bemonsterde lucht worden bepaald. Met deze methode wordt een gemiddelde concentratie over de 24-uurs meetperiode bepaald en geeft daardoor geen inzicht in het verloop van de NH_3 concentraties tijdens de metingen.



Figuur 1 Meetopstelling nat-chemische methode voor ammoniakemissiemetingen. Links: impingers. Midden: Flowmeter. Rechts: pomp.

Optische metingen (PM_{10})

De fijnstofconcentratie (PM_{10}) werd met een lichtverstrooiingstechniek (DustTrak TM Aerosol Monitor, model 8520, TSI Incorporated, Shoreview, VS) bepaald (figuur 2). De PM_{10} concentratie werd elke seconde gemeten, minuutgemiddelden werden gelogd in het geheugen van het apparaat en na de metingen gedownload met behulp van de bijbehorende software.



Figuur 2. DustTrak voor continue/optische meting van PM10.

Gravimetrische meetmethode fijn stof (PM10)

De gravimetrische meetmethode (figuur 3) is er op gebaseerd om het verschil in gewicht van het filter voor en na de meting te bepalen om zodoende de hoeveelheid ingevangen stof vast te stellen. Omdat het bij deze meetmethode slechts om kleine gewichtsverschillen gaat is de meetmethode om het stof te verzamelen aan strikte randvoorwaarde verbonden. De apparatuur voor gravimetrische meting van PM10 is gebaseerd op de standaard referentie monsternametekoppen voor bepaling van PM10-concentraties in de buitenlucht (NEN-EN 12341, 1998). Het verschil tussen de gebruikte apparatuur en de 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 (Zhao e.a., 2009). In Hofschreuder et al. (2008) worden correctielijnen vermeld voor omrekening van de concentraties gemeten met cycloon monsternametekoppen naar impactor monsternametekoppen. De volgende correcties zijn uitgevoerd:

$$\begin{aligned} \text{PM10: } < 0,2226 \text{ mg/m}^3: Y = 1,0877 X \\ > 0,2226 \text{ mg/m}^3: Y = 0,8304 X + 0,057492 \end{aligned}$$

Voor de bepaling van de concentraties PM10 in de ingaande (achtergrond) en uitgaande stallucht werd lucht door inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamepompen van het type Charlie HV (roterend, 6 m³/uur, Ravebo Supply BV, Brielle; zie foto hieronder). De pompen werden geprogrammeerd op een flow van 1,0 m³/uur en op een start- en eindtijd van de monsternamperiode.

PM10 werd verzameld op glasvezelfilters met een diameter van 47 mm (type MN GF-3, Macherey-Nagel GmbH & Co., Düren, Duitsland), nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM10 of PM2,5 cycloon (URG corp., Chapel Hill, VS). De filters werden voor en na de stofmonsternamte gewogen onder standaard condities: temperatuur 20 °C ± 1 °C en 50% ± 5% relatieve luchtvochtigheid (NEN-EN 14907, 2005). De hoeveelheid verzameld stof werd bepaald door het verschil in gewicht te bepalen van het filter voor en na de monsternamte.



Figuur 3 Gravimetrische methode voor het meten van PM10-concentraties..

Longmethode (geur, CH₄, N₂O, CO₂)

In deze methode (Ogink en Mol, 2002) wordt eerst een 40 liter Nalophan monsterzak in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat met behulp van een pomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) via een teflon slang te zuigen, ontstaat in het vat onderdruk en wordt de te bemonsteren lucht aangezogen in de zak.

Bij de bepaling van de geurconcentratie werd gedurende twee uur (tussen 10:00 en 12:00 uur) stallucht aangezogen met een flow van ca. 0,4 l/min (figuur 4). Voordat de lucht in een geurvrije zak werd verzameld werd deze door een stoffilter geleid (type #1130, diameter: 50 mm, 1-2 µm, Savillex® Corp., Minnetonka, VS). Het monster werd direct na bemonstering naar een geurlaboratorium vervoerd om binnen 30 uur te worden geanalyseerd. De geuranalyses werden uitgevoerd volgens de Europese norm EN 13725 (CEN, 2003). Het geurlaboratorium is onder nummer L400 geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie te Utrecht voor het uitvoeren van geuranalyses.

Bij de bepaling van de concentratie broeikasgassen (CH₄, N₂O en CO₂) werd de monsterzak gedurende 24 uur continu gevuld met een vaste luchtstroom van 0,02 l/min (figuur 4). Het gehalte aan broeikasgassen in het monster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A (CH₄, CO₂), Haysep Q (N₂O); detector: CH₄: FID, N₂O: ECD, CO₂: HWD).

Met deze methode wordt een gemiddelde concentratie over de meetperiode (2 uur voor geur, 24 uur voor CH₄, N₂O en CO₂) bepaald en geeft daardoor geen inzicht in het verloop van de geur-, CH₄-, N₂O- en CO₂-concentraties tijdens de metingen.



Figuur 4 Longmethode voor het meten van de geur-, CH₄-, N₂O- en CO₂-concentraties.

Foto-akoestische monitor (CO₂)

Deze meetmethode (figuur 5) is gebaseerd op het effect van infrarood licht op gassen. Als een gas wordt blootgesteld aan infrarood licht met een golflengte die dat gas absorbeert zal een deel van het licht worden geabsorbeerd. Als gevolg hiervan krijgt een aantal moleculen een hoger energieniveau wat leidt tot een stijging van temperatuur en druk. Valt het infrarood licht weg dan zullen de moleculen weer terugvallen naar hun oorspronkelijke energieniveau, temperatuur en druk zullen weer dalen. Wanneer een gas pulserend wordt belicht ontstaat een steeds wisselend druk die resulteert in een geluidsgolf die met behulp van microfoons kan worden gedetecteerd. De concentratie van het gas in een monster wordt dan door de sterkte van het signaal bepaald.



Figuur 5 Meetopstelling voor het meten van de CO₂-concentraties met een foto-akoestische monitor.

Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Temperatuur (°C) en relatieve luchtvochtigheid (%) werden continu gemeten met behulp van temperatuur- en vochtsensoren (Rotronic; ROTRONIC Instrument Corp., Huntington, VS; figuur 6), met een nauwkeurigheid van respectievelijk $\pm 1,0$ °C en $\pm 2\%$. De data werden in een datalogstelsel (Campbell Scientific Inc., Logan, VS) opgeslagen.



Figuur 6 Meetapparatuur voor het meten van de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Strooiselmonsters en -dikte

Gedurende alle meetperioden zijn zowel in de gangpadden als bij de mestbanden (onder de roosters) op 10-15 punten strooiselmonsters genomen (waarbij de gehele laag wordt bemonsterd) en de strooiseldikte gemeten. De strooiselmonsters in de gangpadden en bij de mestbanden werden verzameld in ieder 1 zak (2 mengmonsters in totaal) en geanalyseerd op totaal-N, ammonium-N, drogestof en pH. De laagdikte van het strooisel werd gemeten met behulp van een duimstok.

2.2.3 Productiegegevens

Gedurende de meetperioden werden de volgende gegevens geregistreerd of berekend:

- Aantal geplaatste dieren
- Aantal aanwezig dieren
- Leeftijd dieren [weken]
- Gemiddeld gewicht dieren [kg]
- Gemiddeld voergebruik per dier [kg]
- Gemiddeld watergebruik per dier [l]
- Aantal eieren en gemiddeld eigewicht [g]
- Uitval [%], berekend als $(1 - [\# \text{ hennen aanwezig}] / [\# \text{ hennen opgezet}]) * 100$

2.3 Rekenmethoden

2.3.1 Ventilatie-debiet

Het ventilatie-debiet (V ; m³/uur per dier) werd met behulp van de CO₂-massabalansmethode bepaald. De CO₂-massabalansmethode maakt gebruik van de gemeten CO₂-concentraties van de uit- en ingaande stallucht (respectievelijk $[CO_2]_{stal}$ en $[CO_2]_{buiten}$; ppm) en de CO₂-productie van de dieren (m³ CO₂/dag per dier) in de stal. De CO₂-productie van de dieren wordt berekend aan de hand van de CIGR rekenregels voor leghennen (CIGR, 2002; Pedersen e.a., 2008), op basis van het gemiddelde gewicht van de hennen (m ; kg) en de eiproductie (Y_2 ; kg ei/hen per dag, berekend op basis van het aantal hennen, het aantal eieren per dag en het gemiddelde eigewicht):

$$CO_2 - productie = 0,18 * (6,3 * m^{0,75} + 25 * Y_2)$$

Het ventilatie-debiet V (m³/uur per dier) wordt dan bepaald op basis van:

$$V = \frac{CO_2 - productie}{[CO_2]_{stal} - [CO_2]_{buiten}} \cdot \frac{10^6}{24}$$

2.3.2 Emissies

Per meetserie ($i=1, 2, \dots, 13$) werden de emissies (E_i ; g/jaar per geplaatst dier) van ammoniak, PM10, en broeikasgassen voor zowel de 'controle-dag' als voor de 'case-dag' bepaald op basis van het gemiddeld ventilatie-debiet over de gehele meetperiode (24-uursgemiddelde; V_i [m³/uur per dier aanwezig]) en de gemiddelde concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_{uit_i} [g/m³]) en in de ingaande (achtergrond)lucht (C_{in_i} [g/m³]). De emissies op jaarbasis werden uitgedrukt per geplaatst dier en gecorrigeerd voor een leegstandsperiode voor leghennen van 4% (Ogink et al., 2014):

$$E_i(controls) = V_i * (C_{uit_i} - C_{in_i}) * \left(\frac{dieren_{aanwezig_i}}{dieren_{geplaatst_i}} \right) * 24 * 365 * 0,96$$

$$E_i(case) = V_i * (C_{uit_i} - C_{in_i}) * \left(\frac{dieren_{aanwezig_i}}{dieren_{geplaatst_i}} \right) * 24 * 365 * 0,96$$

Per meetserie ($i=1, 2, \dots, 13$) werden de emissies (E_i ; OU_E/s per geplaatst dier) van geur voor zowel de 'controle-dag' als voor de 'case-dag' bepaald op basis van het gemiddeld ventilatie-debiet over de gehele meetperiode (24-uursgemiddelde; V_i [m³/uur per dier aanwezig]) en de gemiddelde concentratie (24-uursgemiddelde) in de uitgaande lucht (C_{uit_i} [OU_E/m³]). De emissies op jaarbasis werden uitgedrukt per geplaatst dier en gecorrigeerd voor een leegstandsperiode voor leghennen van 4% (Ogink et al., 2013):

$$E_i(controls) = V_i * C_{uit_i} * \left(\frac{dieren_{aanwezig_i}}{dieren_{geplaatst_i}} \right) * \frac{1}{3600} * 0,96$$

$$E_i(case) = V_i * C_{uit_i} * \left(\frac{dieren_{aanwezig_i}}{dieren_{geplaatst_i}} \right) * \frac{1}{3600} * 0,96$$

2.3.3 Emissiereductie

Per meetserie ($i=1, 2, \dots, 13$) werd de emissiereductie (ER_i ; %) van het verwijdering van de strooisel in de stal bepaald als het relatieve verschil tussen de emissies:

$$ER_i = \left(1 - \frac{E_i(case)}{E_i(controle)} \right) \times 100$$

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

$$ER = \overline{ER_i}$$

2.3.4 Statistische analyse

De data werd gecontroleerd op de aanwezigheid van uitbijters door middel van de boxplot-methode met driemaal de IKA-waarde (interkwartiel-afstand) als maat voor uitbijter. De volgende procedure werd toegepast:

1. Per meetserie ($i=1, 2, \dots, 13$) is gekeken naar de verhouding tussen het verschil in waarde en de gemiddelde waarde van de metingen bij de controle- en de case-dagen:

$$verhouding_i = \frac{|E_i(controle) - E_i(case)|}{(E_i(controle) + E_i(case))/2}$$

2. Met deze verhouding-getallen is een database gemaakt en de volgende parameters bepaald:
 - a. het eerste kwartiel ($Q1$): ten minste $1/4$ van de data is niet groter dan $Q1$, en ten minste $3/4$ van de data is niet kleiner dan $Q1$
 - b. het derde kwartiel ($Q3$): ten minste $3/4$ van de data is niet groter dan $Q3$, en ten minste $1/4$ van de data is niet kleiner dan $Q3$
 - c. het interkwartiel-afstand (IKA): $IKA = Q3 - Q1$
 - d. ondergrens voor uitbijter: $Uit_onder = Q1 - 3 \cdot IKA$
 - e. bovengrens voor uitbijter: $Uit_boven = Q3 + 3 \cdot IKA$
3. Waarden in een meetserie worden als uitbijter beschouwd wanneer:
 - a. $verhouding_i < Uit_onder$ of
 - b. $verhouding_i > Uit_boven$

De statistische dubbelzijdig gepaarde t-toets werd gebruikt om te toetsen of het verschil in emissie tussen de controle (strooisel-laag zoals aangetroffen in de stal vóór verwijdering) en de case (dunnere strooisel-laag) significant afweek van nul. Alle analyses werden gedaan met behulp van de GenStat software. De significantie van de verschillen werd als volgt bepaald uit de geschatte P-waarde van de nulhypothese:

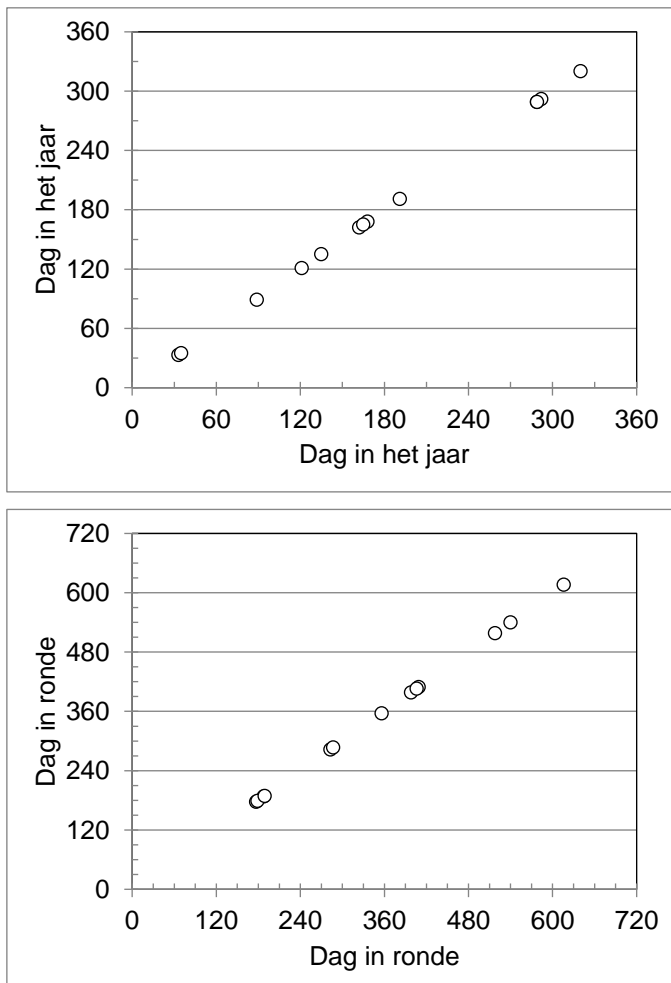
- $P < 0,05$: significante verschillen
- $0,05 < P < 0,10$: aanwijzing voor significantie / zwak significantie
- $P > 0,10$: verschillen zijn niet significant

3 Resultaten en discussie

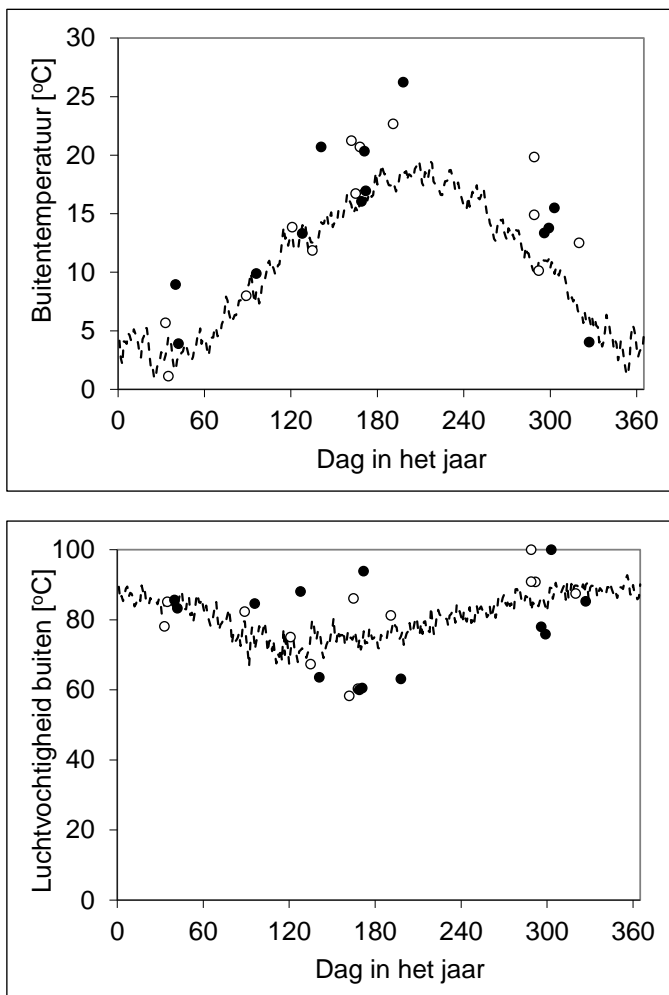
3.1 Meetomstandigheden

In Tabel 6A t/m Tabel 6E worden de omstandigheden weergegeven waaronder de metingen zijn verricht bij alle vijf locaties. De metingen zijn over een periode van 287 dagen in het kalenderjaar verdeeld (figuur 7). De dieren waren gemiddeld 50 weken (tussen 25 en 88 weken) in de productieronde tijdens de metingen. De (daggemiddelde) CO₂-concentratie in de stal lag gedurende alle meetdagen onder de 2500 ppm (uitgezonderd meetdag 5 bij locatie 4 waar een gemiddelde CO₂-concentratie van 2501 ppm werd gemeten). Het uitvalspercentage was gemiddeld 5,4% tijdens de metingen en was, behalve bij meetserie 3 op locaties 4 en 5, altijd lager dan 10%. De water-voer verhouding varieerde tussen 1,6 en 1,9 tijdens de metingen, met een gemiddelde van 1,8 over alle metingen. De dikte van de strooisel-laag was gemiddeld $6,0 \pm 1,5$ cm [en varieerde tussen 3,5 en 9,3 cm] vóór het verwijderen van de strooisel (controle). De dikte van de strooisel-laag was gemiddeld $2,0 \pm 1,0$ cm [en varieerde tussen 0,6 en 3,8 cm] na het verwijderen van de strooisel.

In figuur 8 worden de gemeten buitentemperatuur en relatieve luchtvochtigheid vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 2004-2013 bij het KNMI-weerstation De Bilt. De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten met een dikke strooisel-laag (13,8 °C) is 3,3 °C hoger en de relatieve luchtvochtigheid (80,2%) vergelijkbaar met het langjarige gemiddelde in Nederland (10,5 °C en 81,1%). De gemiddelde buitentemperatuur op de dagen waarop is gemeten met een dunne strooisel-laag (14,1 °C) is 3,5 °C hoger en de relatieve luchtvochtigheid (78,6%) 2,5% lager dan het langjarige gemiddelde in Nederland.



Figuur 7 Verdeling van de metingen in het jaar (boven) en in de productieronde (onder).



Figuur 8 Buitentemperatuur (boven) en relatieve luchtvochtigheid (onder) vergeleken met de gemiddelde waarden gemeten over de jaren 2004-2013 bij het KNMI-weerstation De Bilt (www.knmi.nl; als stippellijn weergegeven).

3.2 Strooiselmonsters

In tabel 6A t/m tabel 6E worden de resultaten van de strooiselanalyses weergegeven. De resultaten van de strooiselmonsters genomen bij metingen met een dunnere strooisel-laag (case) waren voor zowel pH, ds, Totaal-N als Ammonium-N niet significant verschillend ($P > 0,10$) t.o.v. de waarden van de metingen met een dikkere strooisel-laag (controle). De pH van het strooisel was gemiddeld $8,2 \pm 0,5$ vóór het verwijderen van het strooisel en $8,1 \pm 0,6$ na het verwijderen van het strooisel. Het drogestofgehalte van het strooisel was gemiddeld 755 ± 68 g/kg vóór het verwijderen van het strooisel en 741 ± 74 g/kg na het verwijderen van het strooisel. Het totaal stikstofgehalte van het strooisel was gemiddeld $23,5 \pm 3,2$ g/kg vóór het verwijderen van het strooisel en $23,6 \pm 2,6$ g/kg na het verwijderen van het strooisel. Het ammoniumgehalte van het strooisel was gemiddeld $2,7 \pm 0,8$ g/kg vóór het verwijderen van het strooisel en $2,5 \pm 1,0$ g/kg na het verwijderen van het strooisel.

Tabel 6A Meetomstandigheden (gemiddelde 24-uurs productie- en klimaatgegevens (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid)) tijdens de metingen bij meetlocatie 1.

Resultaten	Meting 1		Meting 2	
	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag
Datum meetdag	1-5-2014	8-5-2014	16-10-2014	30-10-2014
Dag in het jaar	121	128	289	303
Dag in productieronde	188	195	356	370
Aantal geplaatste dieren	15800	15800	15800	15800
Aantal aanwezige dieren op meetdag	15477	15450	14327	14302
Gewicht dieren [kg]	2,0	2,0	2,0	2,0
Eierenproductie [kg/dier/dag]	0,06	0,06	0,05	0,05
Uitval [%]	2,0	2,2	9,3	9,5
Strooiseleigenschappen				
Strooiseldikte gang [cm]	4,0	0,7	5,5	0,4
Strooiseldikte rooster [cm]	5,7	0,5	7,7	0,8
Totaal-N [g/kg]	24,2	25,1	24,2	23,0
Ammonium-N [g/kg]	4,1	4,8	2,4	2,5
Drogestof [g/kg]	783,4	750,5	790,7	752,3
pH	8,6	8,4	8,5	8,6
Voergebruik [kg per dier per week]	0,9	0,9	0,8	0,8
Watergebruik [l per dier per week]	1,6	1,6	1,4	1,4
Water-voer verhouding	1,8	1,8	1,8	1,8
T stal [°C]	22,3	22,7	23,6	22,0
RV stal [%]	61,6	75,4	68,5	69,7
T buiten [°C]	13,8	13,3	14,9	15,5
RV buiten [%]	75,0	88,1	100,0	100,0
CO ₂ -stalconcentratie [ppm]	1178	1403	1190	1160
Debiet [m ³ /uur/dier]	3,2	2,5	3,1	3,4

Tabel 6B Meetomstandigheden (gemiddelde 24-uurs productie- en klimaatgegevens (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid)) tijdens de metingen bij meetlocatie 2.

Resultaten	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag
Datum meetdag	15-5-2014	21-5-2014	19-10-2015	26-10-2015	10-6-2016	17-6-2016
Dag in het jaar	135	141	292	299	162	169
Dag in productieronde	177	183	283	290	518	525
Aantal geplaatste dieren	17706	17706	18000	18000	18000	18000
Aantal aanwezige dieren op meetdag	17336	17316	17675	17672	17059	17059
Gewicht dieren [kg]	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7
Eierenproductie [kg/dier/dag]	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Uitval [%]	2,1	2,2	1,8	1,8	5,2	5,2
Strooiseleigenschappen						
Strooiseldikte gang [cm]	6,4	2,3	3,5	1,2	4,6	2,1
Strooiseldikte rooster [cm]	0,9	2,0	1,0	1,1	2,0	2,0
Totaal-N [g/kg]	24,4	25,0	17,6	19,1	20,9	25,2
Ammonium-N [g/kg]	3,7	3,3	2,0	1,6	2,4	1,2
Drogestof [g/kg]	777,5	786,8	592,2	563,1	666,9	647,9
pH	8,8	8,7	8,3	7,9	7,3	6,9
Voergebruik [kg per dier per week]	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
Watergebruik [l per dier per week]	1,5	1,5	1,5	1,4	1,6	1,6
Water-voer verhouding	1,8	1,8	1,9	1,8	1,9	1,9
T stal [°C]	20,1	24,0	21,1	21,4	22,3	18,8
RV stal [%]	59,2	58,8	74,6	71,3	59,7	58,9
T buiten [°C]	11,8	20,7	10,1	13,8	21,2	16,0
RV buiten [%]	67,3	63,6	90,8	75,9	58,3	60,0
CO ₂ -stalconcentratie [ppm]	2000	800	1421	1373	819	1173
Debiet [m ³ /uur/dier]	1,6	7,1	2,1	2,2	4,7	2,9

Tabel 6C Meetomstandigheden (gemiddelde 24-uurs productie- en klimaatgegevens (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid)) tijdens de metingen bij meetlocatie 3.

Resultaten	Meting 1		Meting 2	
	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag
Datum meetdag	17-6-2014	20-6-2014	2-2-2015	9-2-2015
Dag in het jaar	168	171	33	40
Dag in productieronde	179	182	409	416
Aantal geplaatste dieren	22922	22922	22922	22922
Aantal aanwezige dieren op meetdag	22520	22518	21851	21829
Gewicht dieren [kg]	1,7	1,7	1,7	1,7
Eierenproductie [kg/dier/dag]	0,06	0,06	0,06	0,06
Uitval [%]	1,8	1,8	4,7	4,8
Strooiseleigenschappen				
Strooiseldikte gang [cm]	5,7	1,8	5,2	1,6
Strooiseldikte rooster [cm]	4,6	1,7	4,7	2,6
Totaal-N [g/kg]	26,3	26,8	22,3	23,4
Ammonium-N [g/kg]	1,7	1,5	2,8	3,1
Drogestof [g/kg]	830,4	833,4	757,8	761,6
pH	8,5	8,4	8,0	8,0
Voergebruik [kg per dier per week]	0,8	0,8	0,9	0,9
Watergebruik [l per dier per week]	1,6	1,6	1,6	1,6
Water-voer verhouding	1,9	1,9	1,9	1,9
T stal [°C]	24,7	24,6	21,2	21,1
RV stal [%]	58,9	59,1	64,4	66,0
T buiten [°C]	20,7	20,3	5,7	8,9
RV buiten [%]	60,3	60,5	78,1	85,6
CO ₂ -stalconcentratie [ppm]	1115	1070	2342	1943
Debiet [m ³ /uur/dier]	3,3	3,8	1,2	1,6

Tabel 6D Meetomstandigheden (gemiddelde 24-uurs productie- en klimaatgegevens (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid)) tijdens de metingen bij meetlocatie 4.

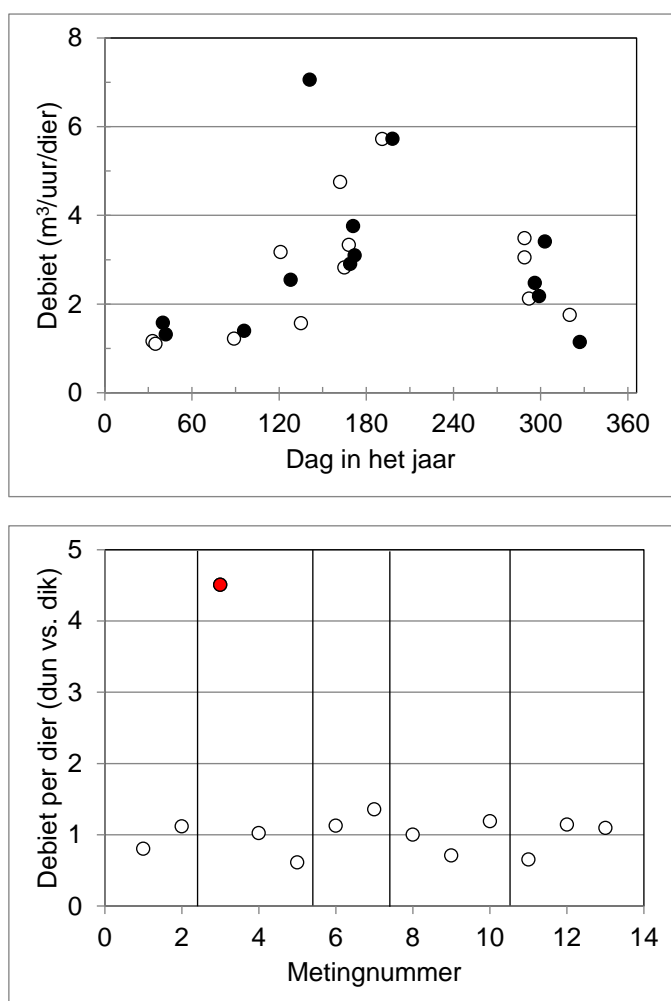
Resultaten	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag
Datum meetdag	10-7-2014	17-7-2014	16-10-2014	23-10-2014	4-2-2015	11-2-2015
Dag in het jaar	191	198	289	296	35	42
Dag in productieronde	189	196	287	294	398	405
Aantal geplaatste dieren	24200	24200	24200	24200	24200	24200
Aantal aanwezige dieren op meetdag	23858	23835	23023	23000	21700	21700
Gewicht dieren [kg]	1,9	1,9	1,7	1,7	1,9	1,9
Eierenproductie [kg/dier/dag]	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Uitval [%]	1,4	1,5	4,9	5,0	10,3	10,3
Strooiseleigenschappen						
Strooiseldikte gang [cm]	7,5	0,5	4,1	0,3	6,7	2,3
Strooiseldikte rooster [cm]	7,2	2,0	5,8	2,3	6,2	4,5
Totaal-N [g/kg]	29,9	28,2	27,0	25,0	24,2	22,8
Ammonium-N [g/kg]	2,6	2,9	1,1	1,2	2,3	2,4
Drogestof [g/kg]	814,8	809,9	827,6	810,3	773,5	772,3
pH	8,3	8,5	8,2	8,5	8,1	8,1
Voergebruik [kg per dier per week]	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,90
Watergebruik [l per dier per week]	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,49
Water-voer verhouding	1,8	1,8	1,6	1,6	1,7	1,67
T stal [°C]	25,6	26,7	23,2	22,9	19,8	20,2
RV stal [%]	71,2	60,6	69,0	60,4	59,1	58,7
T buiten [°C]	22,7	26,2	19,8	13,4	1,1	3,9
RV buiten [%]	81,2	63,1	90,9	78,0	85,1	83,3
CO ₂ -stalconcentratie [ppm]	814	812	1130	1300	2501	2195
Debiet [m ³ /uur/dier]	5,7	5,7	3,5	2,5	1,1	1,3

Tabel 6E Meetomstandigheden (gemiddelde 24-uurs productie- en klimaatgegevens (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid)) tijdens de metingen bij meetlocatie 5.

Resultaten	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag
Datum meetdag	16-11-2015	23-11-2015	29-3-2016	5-4-2016	13-6-2016	20-6-2016
Dag in het jaar	320	327	89	96	165	172
Dag in productieronde	406	413	540	547	616	623
Aantal geplaatste dieren	9036	9036	9036	9036	9036	9036
Aantal aanwezige dieren op meetdag	8392	8367	8289	8283	8110	8077
Gewicht dieren [kg]	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0
Eierenproductie [kg/dier/dag]	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05
Uitval [%]	7,1	7,4	8,3	8,3	10,2	10,6
Strooiseleigenschappen						
Strooiseldikte gang [cm]	6,3	2,7	9,1	3,1	6,4	1,8
Strooiseldikte rooster [cm]	7,5	3,3	9,4	4,5	7,3	3,3
Totaal-N [g/kg]	21,5	20,4	20,2	20,5	22,1	22,4
Ammonium-N [g/kg]	2,6	2,1	3,9	3,7	3,1	2,6
Drogestof [g/kg]	744,5	704,4	694,8	697,7	767,2	737,0
pH	8,9	8,7	7,7	7,7	7,3	7,1
Voergebruik [kg per dier per week]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Watergebruik [l per dier per week]	1,5	1,6	1,5	1,5	1,6	1,4
Water-voer verhouding	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6
T stal [°C]	22,2	20,3	22,3	22,4	22,7	23,1
RV stal [%]	75,0	74,7	68,8	68,5	79,5	81,5
T buiten [°C]	12,5	4,0	8,0	9,9	16,7	16,9
RV buiten [%]	87,5	85,2	82,3	84,6	86,1	93,9
CO ₂ -stalconcentratie [ppm]	1566	2310	2175	1955	1150	1083
Debiet [m ³ /uur/dier]	1,8	1,1	1,2	1,4	2,8	3,1

3.3 Ventilatie-debeten

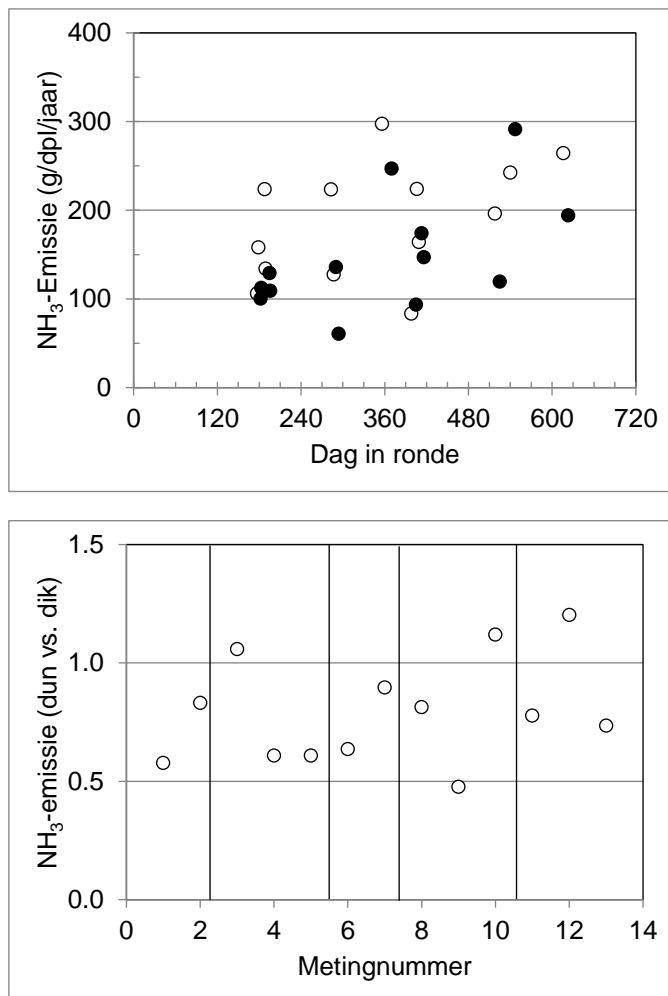
Het ventilatie-debiet was voor alle metingen (met uitzondering van meting 1 bij locatie 2) vergelijkbaar vóór en na verwijdering van de strooisel (tabel 7 en figuur 9). Een statistische analyse (zie hoofdstuk 2.3.4) toonde aan dat meting 1 bij locatie 2 als uitbijter (wat betreft ventilatie-debiet) kan worden beschouwd. Een mogelijke verklaring voor dit grote verschil bij deze meetserie was de veel hogere buitentemperatuur tijdens de metingen met een dunne strooisel-laag ten opzichte van de buitentemperatuur tijdens de metingen met een dikke strooisel-laag. Gemiddeld over alle metingen was het ventilatie-debiet $2,7 \pm 1,4 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier in de meetperioden met een dikke laag strooisel, en $3,0 \pm 1,7 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier in de meetperioden met een dunne laag strooisel. Zonder uitbijters (meting 1 bij locatie 2) was het ventilatie-debiet gemiddeld $2,8 \pm 1,4 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier in de meetperioden met een dikke strooisel-laag, en $2,6 \pm 1,3 \text{ m}^3/\text{uur}$ per dier in de meetperioden met een dunne strooisel-laag. De meetomstandigheden wat betreft ventilatie-debiet kunnen als vergelijkbaar worden beschouwd.



Figuur 9 Boven: Gemiddelde ventilatie-debiet [m^3/uur per dier] voor alle metingen. Open symbolen: dikke laag (controle); Gesloten symbolen: dunne laag (case). Onder: Ventilatie-debiet voor de metingen met een dunne strooisel-laag vs. ventilatie-debiet voor de metingen met een dikke strooisel-laag. De verticale lijnen worden gebruikt om onderscheid te maken tussen de metingen op de verschillende meetlocaties. De uitbijters worden in rood weergegeven.

3.4 Ammoniak (NH₃)

In figuur 10 worden de NH₃-emissies en de gemeten emissiereducties weergegeven. De meetdata bevatte geen uitbijters. De veel hogere ventilatie bij meting 1 op locatie 2 tijdens de metingen met een dunne strooisel-laag t.o.v. van de metingen bij een dikkere strooisel-laag heeft niet geleid tot extreem hogere NH₃-emissies. Gemiddeld over alle metingen (tabel 7 en figuur 10) was de NH₃-emissie 188 ± 65 g/jaar per geplaatst dier (emissies gecorrigeerd door 4% leegstand) in de meetperioden met een dikke strooisel-laag, en 147 ± 65 g/jaar per geplaatst dier (emissies gecorrigeerd door 4% leegstand) in de meetperioden met een dunne strooisel-laag. De gemiddelde emissies over alle metingen (dikke en dunne strooisel-laag) was 174 ± 69 g/jaar per geplaatst dier (emissies gecorrigeerd door 4% leegstand). Dit is iets hoger dan de emissies (129 ± 80 g/jaar per geplaatst dier; emissies gecorrigeerd door 4% leegstand) gerapporteerd in Winkel e.a. (2011) bij metingen aan vier bedrijven met leghennen in volièrehuisvesting, en de emissiefactoren in de Rav voor volièrehuisvesting met mestbanden en mestbeluchting (25-90 g/jaar per geplaatst dier). De gemiddelde emissie in Winkel e.a. (2011) was gebaseerd op 22 metingen verdeeld over het gehele jaar.

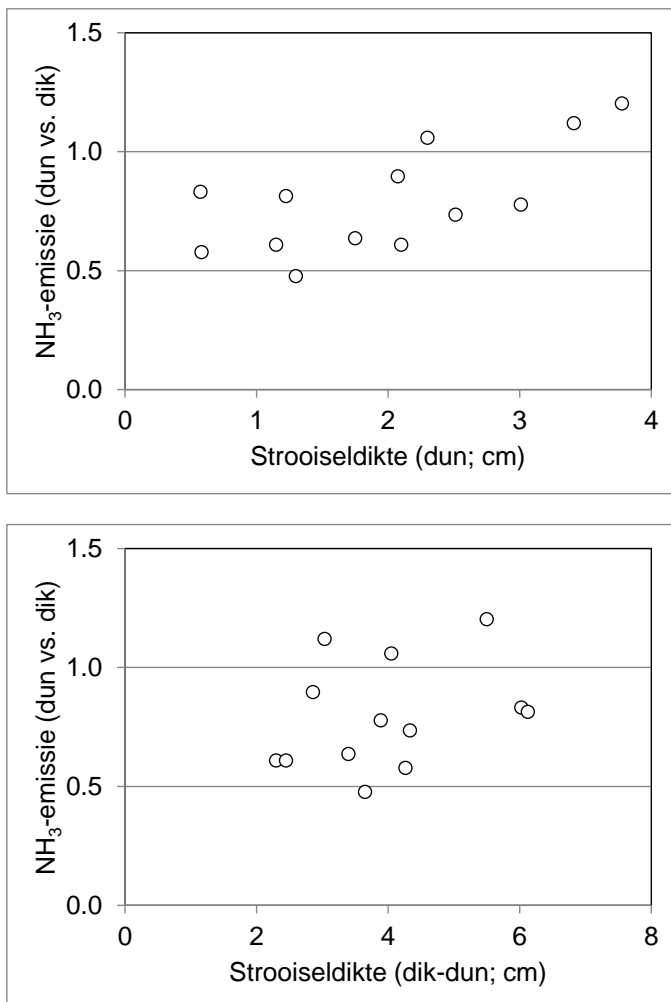


Figuur 10 Boven: gemiddelde NH₃-emissie op alle verschillende meetdagen. dpl: geplaatste dieren. Open symbolen: emissie vóór het verwijderen van strooisel (controle); Gesloten symbolen: emissie na verwijdering van strooisel (case). Onder: verhouding tussen de NH₃-emissie na het verwijderen van strooisel (case) en de emissies vóór het verwijderen van strooisel (controle). De verticale lijnen worden gebruikt om onderscheid te maken tussen de metingen bij de verschillende meetlocaties.

Emissies na verwijdering van strooisel (case) waren zwak significant ($0,05 < P < 0,10$) verschillend t.o.v. de emissies vóór verwijdering van strooisel (controle). De gemiddelde NH_3 -emissiereductie door het verwijderen van strooisel in de stal over alle metingen was in onderhavige studie 20 ± 6 % (figuur 10) bij een reductie van de strooisel-laagdikte van 4 cm (ammoniakemissiereductie van 5% per cm). Dit is vergelijkbaar met de emissiereductie gerapporteerd door Groot Koerkamp en Reitsma (1997). In die studie, ook bij legkippen op een voliëresysteem, werd de strooisel-laag gehalveerd (van 9,2 naar 4,7 cm). Het directe effect van het strooisel verwijderen op de NH_3 -emissie werd door Groot Koerkamp en Reitsma (1997) op 24% geschat, oftewel een reductie in ammoniakemissie van 5% per cm. Groot Koerkamp en Reitsma (1997) geven aan dat een verdere reductie in NH_3 -emissie mogelijk is, wanneer een dunnere strooisel-laag kan worden gerealiseerd.

Eind 2012 zijn door Van Emous et al. (2009) indicatieve metingen gedaan op 2 praktijkbedrijven met voliëre legkippenbedrijven om het effect van een dunnere strooisel-laag op de NH_3 -emissie te bepalen. De resultaten waren niet eenduidig. Op een bedrijf (voliërestal met 2 etages), waarbij een verlaging van de strooisel-laag van gemiddeld 7 naar 2 cm gerealiseerd kon worden, werd een reductie op de NH_3 -emissie van 65% gemeten. Bij de tweede bedrijf (bedrijf met 2 verschillende voliërestallen), waren de verschillen in NH_3 -emissie van een dunnere strooisel-laag t.o.v. de referentie (dikkere laag) niet significant. Dit werd verklaard door verschillen in leeftijd van de dieren tussen de stallen, en doordat de strooisel-laag niet voldoende kon worden verlaagd (van gemiddeld 9,8 naar 3,6 cm).

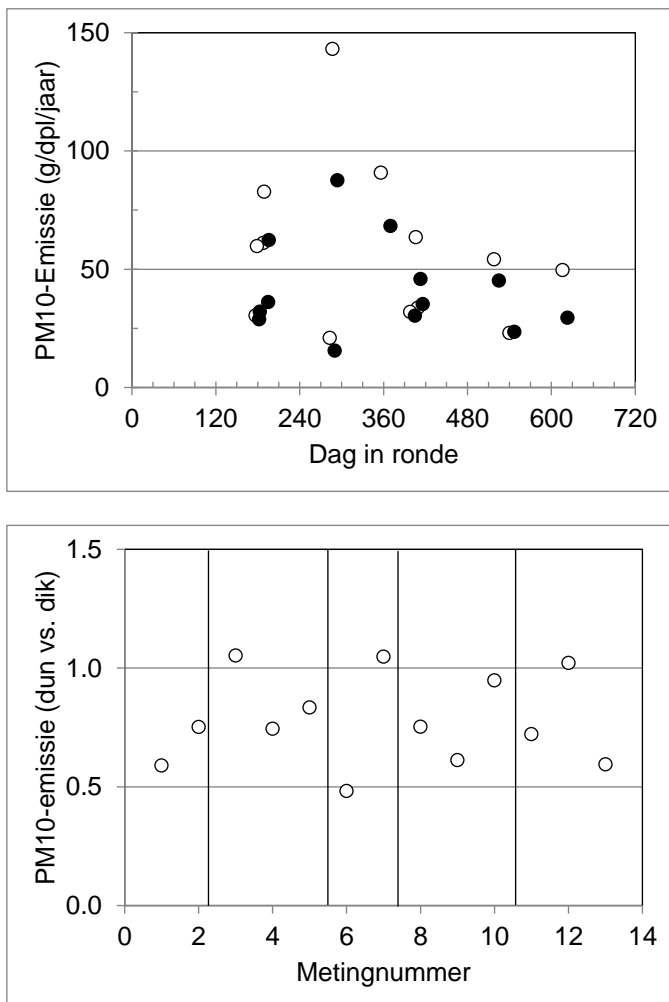
Figuur 11 laat zien dat de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van de strooisel belangrijker is dan de hoeveelheid strooisel die verwijderd wordt om NH_3 -emissies te kunnen reduceren. Een voorbeeld is meting 2 bij locatie 5, waar meer dan 5 cm dikte van de strooisel-laag werd verwijderd maar waar de dikte van de strooisel-laag na verwijdering nog steeds bijna 4 cm was. In dit geval werden hogere NH_3 -emissies gemeten na verwijdering van het strooisel (case) t.o.v. van de controle. Geconcludeerd kan worden dat om NH_3 -emissies te kunnen reduceren, de dikte van de strooisel-laag na verwijdering kleiner dan 2-3 cm moet zijn. In dat geval kan een NH_3 -emissiereductie van 25-30% worden bereikt.



Figuur 11 Verhouding tussen de NH₃-emissie na het verwijderen van strooisel (case) en de emissies vóór het verwijderen van strooisel (controle). Boven: relatie t.o.v. de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van strooisel. Onder: relatie t.o.v. het verschil in dikte tussen case en controle.

3.5 Fijnstof (PM10)

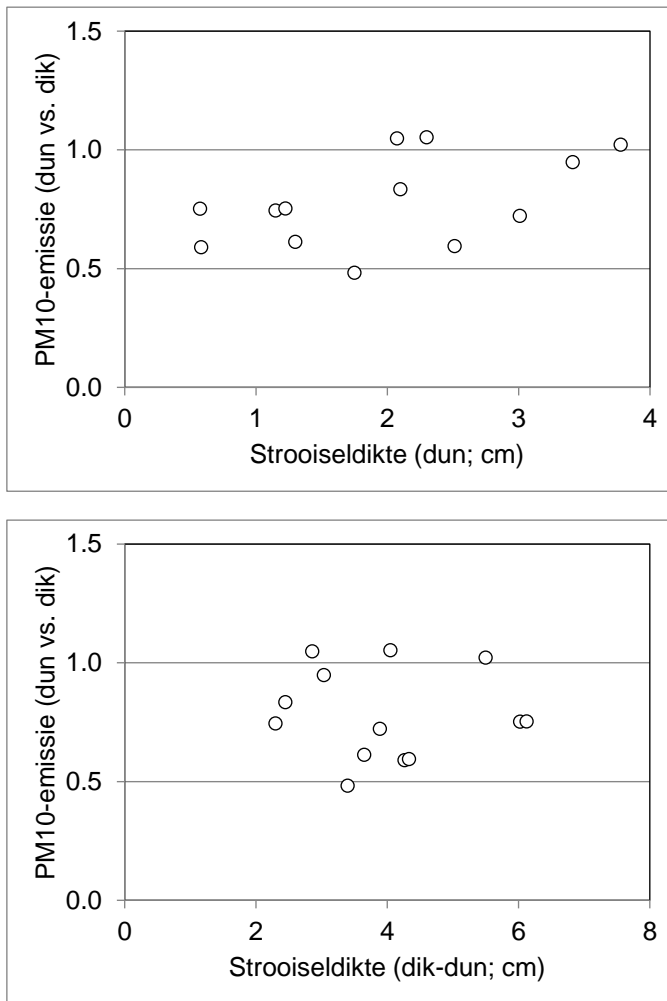
In figuur 12 worden de PM10-emissies en de gemeten emissiereducties weergegeven. De meetdata bevatte geen uitbijters. De veel hogere ventilatie bij meting 1 op locatie 2 tijdens de metingen met een dunne strooisel-laag t.o.v. van de metingen bij een dikkere strooisel-laag heeft niet geleid tot extreem hogere PM10-emissies. Gemiddeld over alle metingen (tabel 7 en figuur 12) was de PM10-emissie $57,3 \pm 33,8$ g/jaar per geplaatst dier (emissies gecorrigeerd door 4% leegstand) in de meetperioden met een dikke strooisel-laag, en $41,6 \pm 20,2$ g/jaar per geplaatst dier (emissies gecorrigeerd door 4% leegstand) in de meetperioden met een dunne strooisel-laag. De gemiddelde emissie over alle metingen (dikke en dunne strooisel-laag) was $51,5 \pm 29,6$ g/jaar per geplaatst dier (emissies gecorrigeerd door 4% leegstand). Dit is iets lager dan de emissies ($64,6 \pm 13,2$ g/jaar per geplaatst dier; emissies gecorrigeerd door 4% leegstand) gerapporteerd in Winkel e.a. (2011) bij metingen aan vier bedrijven met leghennen in volièrehuisvesting en de emissiefactoren in de Rav voor volièrehuisvesting met mestbanden en mestbeluchting (65 /jaar per geplaatst dier). De gemiddelde emissie in Winkel e.a. (2011) was gebaseerd op 22 metingen verdeeld over het gehele jaar.



Figuur 12 Boven: gemiddelde PM10-emissie op alle verschillende meetdagen. dpl: geplaatste dieren. Open symbolen: emissie vóór het verwijderen van strooisel (controle); Gesloten symbolen: emissie na verwijdering van strooisel (case). Onder: verhouding tussen de PM10-emissie na het verwijderen van strooisel (case) en de emissies vóór het verwijderen van strooisel (controle). De verticale lijnen worden gebruikt om onderscheid te maken tussen de metingen bij de verschillende meetlocaties.

Emissies na verwijdering van strooisel (case) waren zwak significant ($0,05 < P < 0,10$) verschillend t.o.v. de emissies vóór verwijdering van strooisel (controle). De gemiddelde PM10-emissiereductie door het verwijderen van strooisel in de stal over alle metingen was in onderhavige studie $22 \pm 5\%$ (figuur 12) bij een reductie van de strooisel-laagdikte van 4 cm (PM10-emissiereductie van 5% per cm). In een literatuurstudie van Van Emous et al. (2009) werd geconcludeerd dat het verlagen van de strooisel-laag dikte van 10 naar 5 cm nauwelijks effect zou hebben op de fijnstofemissie. Echter, door de strooisel-laag van 10 naar 2 cm te reduceren zou een reductie van de fijnstofemissie van 50% gerealiseerd kunnen worden. Eind 2012 zijn door Van Emous et al. (2009) indicatieve metingen gedaan op 2 praktijkbedrijven met volière legkippenbedrijven om het effect van een dunnere strooisel-laag op de PM10-emissie te bepalen. De resultaten waren niet eenduidig. Op een bedrijf (volièrestal met 2 etages), waarbij een verlaging van de strooisel-laag van gemiddeld 7 naar 2 cm gerealiseerd kon worden, werd een reductie op de PM10-emissie van 37% gemeten. Bij de tweede bedrijf (bedrijf met 2 verschillende volièrestallen), waren de verschillen in PM10-emissie van een dunnere strooisel-laag t.o.v. de referentie (dikkere laag) niet significant. Dit werd verklaard door verschillen in leeftijd van de dieren tussen de stallen, en doordat de strooisel-laag niet voldoende kon worden verlaagd (van gemiddeld 9,8 naar 3,6 cm).

Figuur 13 laat zien dat, net zoals voor NH_3 , de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van de strooisel belangrijker is dan de hoeveelheid strooisel die verwijderd wordt om PM_{10} -emissies te kunnen reduceren: de reductie is groter wanneer de dikte van de strooisel-laag na verwijdering kleiner is dan 2-3 cm. In dit geval kan een PM_{10} -emissiereductie van 25-35% worden bereikt.

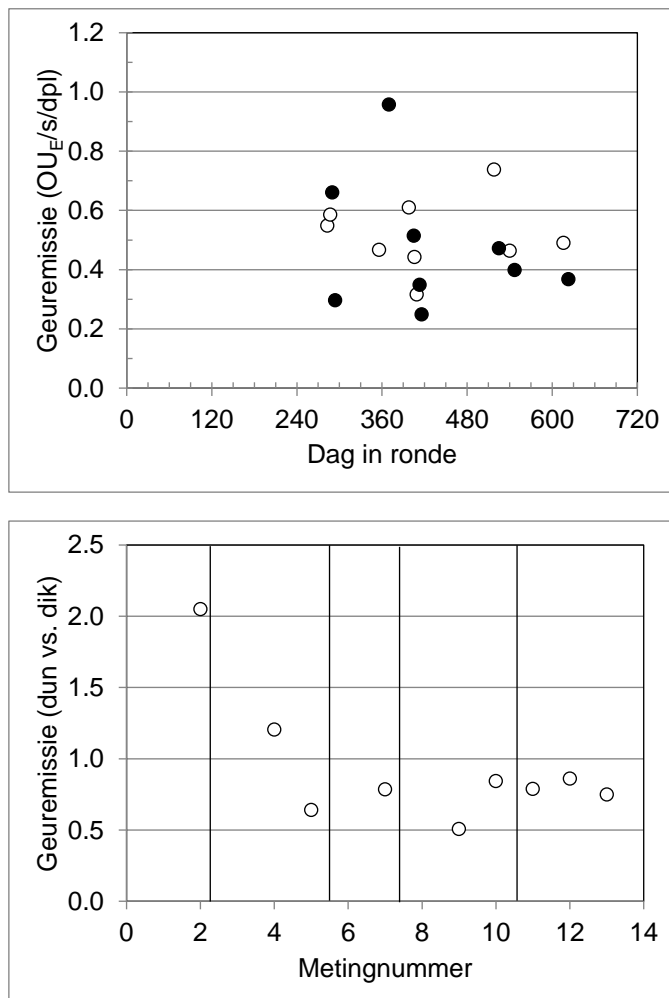


Figuur 13 Verhouding tussen de PM_{10} -emissie na het verwijderen van strooisel (case) en de emissies vóór het verwijderen van strooisel (controle). Boven: relatie t.o.v. de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van strooisel. Onder: relatie t.o.v. het verschil in dikte tussen case en controle.

3.6 Geur

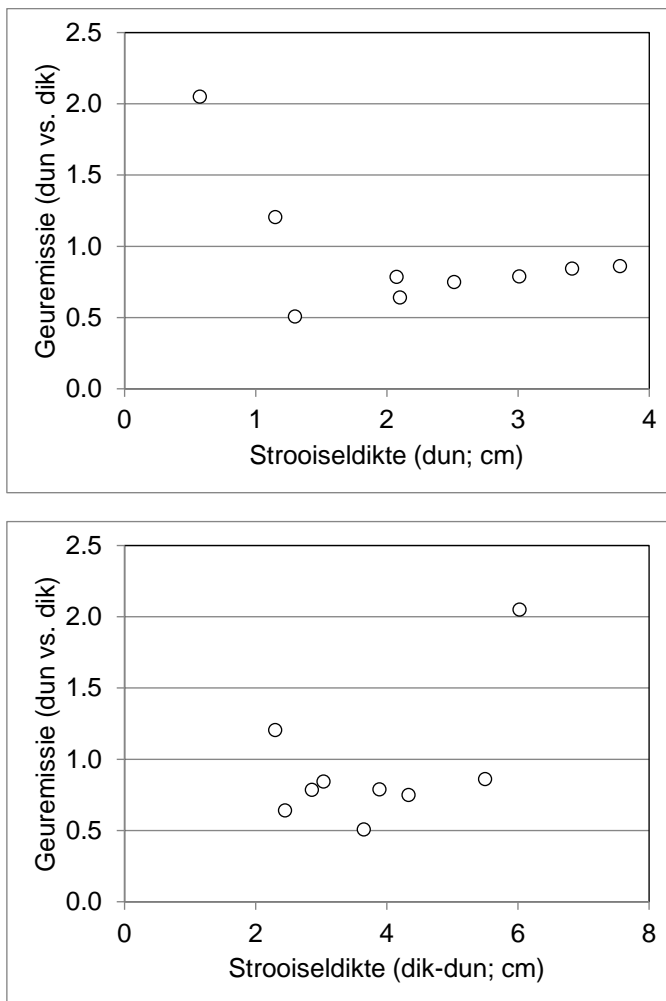
In figuur 14 worden de geuremissies en de gemeten emissiereducties weergegeven. Hoewel bij meting 2 op locatie 1 een veel hogere emissie na strooiselverwijdering t.o.v. vóór verwijdering werd gemeten, en bij meting 2 op locatie 4 juist een veel lagere emissie na strooiselverwijdering t.o.v. vóór verwijdering, konden geen uitbijters in de meetdata aangetoond worden. Gemiddeld over alle metingen (Tabel 7 en Figuur 14) was de geuremissie $0,51 \pm 0,12$ OU_E/s per geplaatst dier (emissies worden voor geur niet gecorrigeerd voor leegstand) in de meetperioden met een dikke strooisel-laag, en $0,44 \pm 0,22$ OU_E/s per geplaatst dier in de meetperioden met een dunne strooisel-laag. Opvallend was ook dat bij locaties 1 en 2 de geuremissie in de case (na verwijdering van strooisel) over het algemeen hoger waren dan in de controle (dikkere strooisel-laag). Bij locaties 3 t/m 5 werden altijd lagere geuremissies gemeten in de case t.o.v. de controle. Het was binnen dit project niet mogelijk om een verklaring voor dit effect te vinden.

De gemiddelde emissie (zonder correctie voor leegstand) over alle metingen (dikke en dunne strooisel-laag) was $0,47 \pm 0,17$ OU_E/s per geplaatst dier. Dit is hoger dan de emissies ($0,20 \pm 0,04$ OU_E/s per geplaatst dier) gerapporteerd in Winkel e.a. (2011) bij metingen aan vier bedrijven met leghennen in volièrehuisvesting, en eveneens hoger dan de huidige emissiefactor in de Rav voor volièrehuisvesting met mestbanden en mestbeluchting ($0,34$ OU_E/s per geplaatst dier). De gemiddelde emissie in Winkel e.a. (2011) was gebaseerd op 22 metingen verdeeld over het gehele jaar.



Figuur 14 Boven: gemiddelde geuremissie op alle verschillende meetdagen. dpl: geplaatste dieren. Open symbolen: emissie vóór het verwijderen van strooisel (controle); Gesloten symbolen: emissie na verwijdering van strooisel (case). Onder: verhouding tussen de geuremissie na het verwijderen van strooisel (case) en de emissies vóór het verwijderen van strooisel (controle). De verticale lijnen worden gebruikt om onderscheid te maken tussen de metingen bij de verschillende meetlocaties.

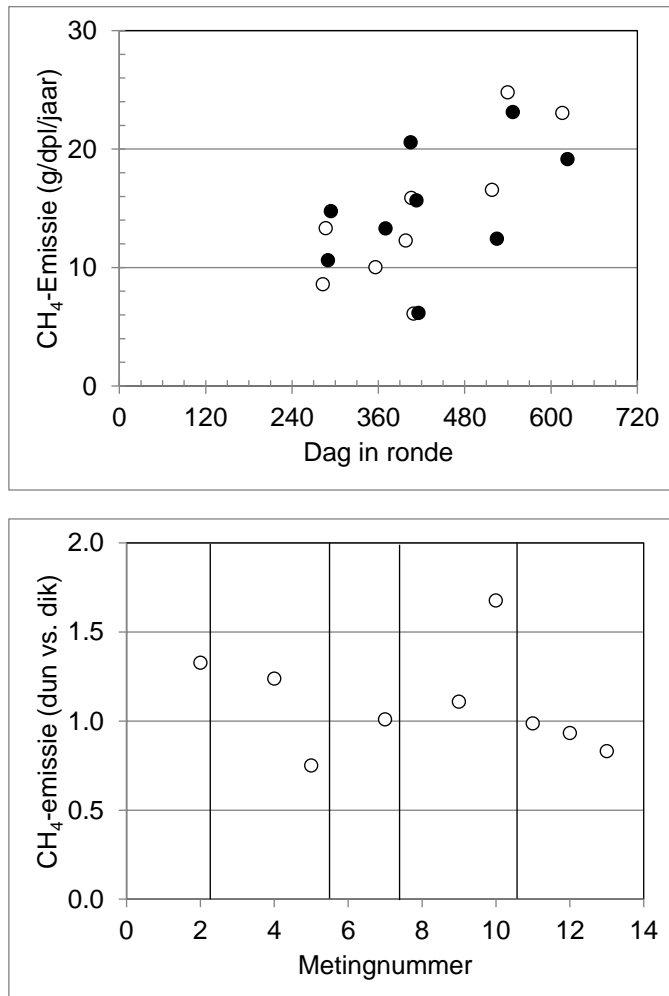
De gemiddelde geuremissiereductie door het verwijderen van strooisel in de stal over alle metingen was in onderhavige studie $6 \pm 15\%$ (figuur 14) bij een reductie van de strooisel-laagdikte van 4 cm, hoewel dit effect niet statistisch significant was ($P > 0,10$). De eerste twee metingen laten een afwijkend patroon zien (hogere in plaats van lagere geuremissies na verwijderen van het strooisel) ten opzichte van de andere zeven metingen. Hiervoor is geen verklaring gevonden. Een statistische analyse heeft ook laten zien dat deze metingen niet als uitbijter kunnen worden beschouwd. Echter, de laatste zeven metingen laten zien dat strooiselverwijdering potentie heeft om geuremissies sterk te kunnen reduceren. De gemiddelde emissiereductie van deze zeven metingen is $26 \pm 5\%$, en het effect is sterk significant ($P < 0,05$). Figuur 15 laat geen direct verband zien tussen de geuremissie en de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van de strooisel, en tussen de geuremissie en de hoeveelheid strooisel die verwijderd wordt.



Figuur 15 Verhouding tussen de geuremissie na het verwijderen van strooisel (case) en de emissies vóór het verwijderen van strooisel (controle). Boven: relatie t.o.v. de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van strooisel. Onder: relatie t.o.v. het verschil in dikte tussen case en controle.

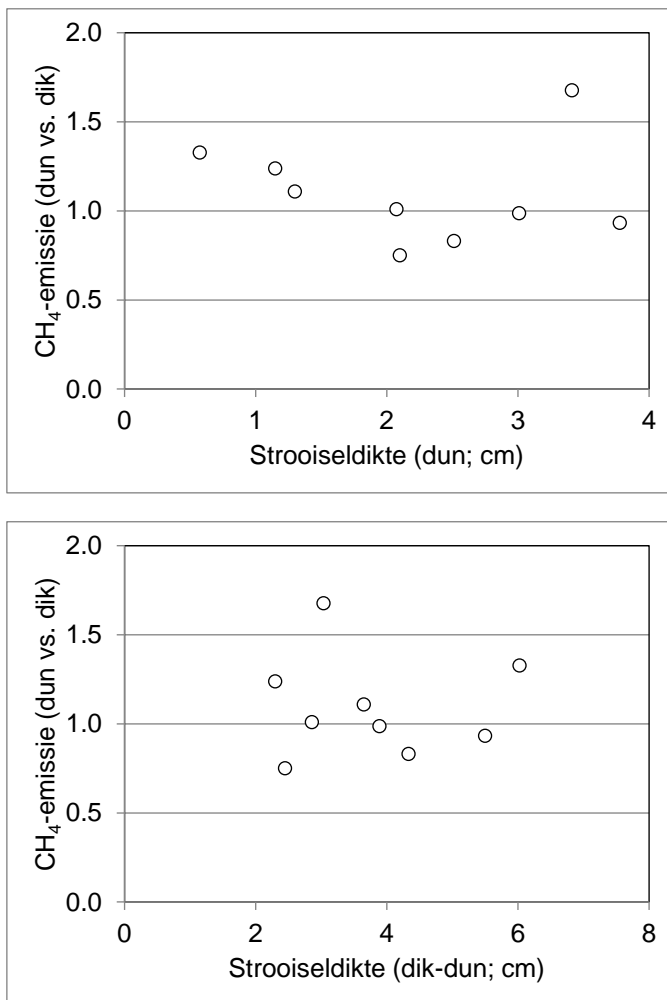
3.7 Methaan (CH₄)

In figuur 16 worden de CH₄-emissies en de gemeten emissiereducties weergegeven. De meetdata bevatte geen uitbijters. Gemiddeld over alle metingen (tabel 7 en figuur 16) bedroeg de CH₄-emissie $14,5 \pm 6,3$ g/jaar per geplaatst dier (emissies gecorrigeerd door 4% leegstand) in de meetperioden met een dikke strooisel-laag, en $15,1 \pm 5,3$ g/jaar per geplaatst dier in de meetperioden met een dunne strooisel-laag. De gemiddelde emissie (gecorrigeerd door 4% leegstand) over alle metingen (dikke en dunne strooisel-laag) was $15,4 \pm 5,9$ g/jaar per geplaatst dier. Dit is lager dan de emissies ($26,2 \pm 10,2$ g/jaar per geplaatst dier) gerapporteerd in Winkel e.a. (2011) bij metingen aan vier bedrijven met leghennen in volièrehuisvesting. De gemiddelde emissie in Winkel e.a. (2011) was gebaseerd op 22 metingen verdeeld over het gehele jaar.



Figuur 16 Boven: gemiddelde CH₄-emissie op alle verschillende meetdagen. dpl: geplaatste dieren. Open symbolen: emissie vóór het verwijderen van strooisel (controle); Gesloten symbolen: emissie na verwijdering van strooisel (case). Onder: verhouding tussen de CH₄-emissie na het verwijderen van strooisel (case) en de emissies vóór het verwijderen van strooisel (controle). De verticale lijnen worden gebruikt om onderscheid te maken tussen de metingen bij de verschillende meetlocaties.

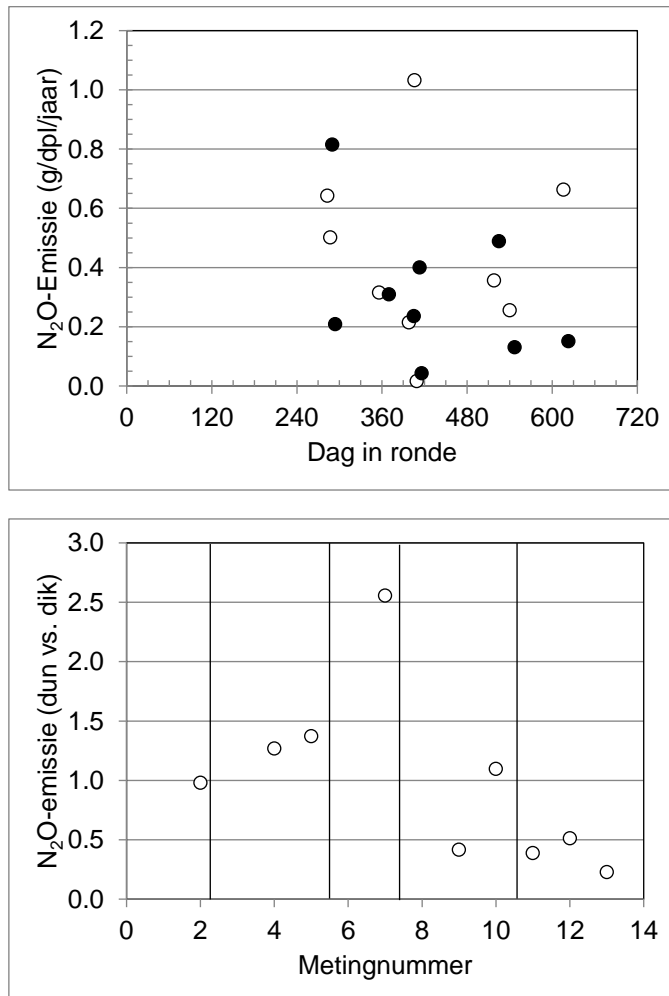
De data laat over alle metingen geen CH₄-emissiereductie maar een geringe toename ($10 \pm 9\%$) van de CH₄-emissies door het verwijderen van strooisel in de stal (figuur 16), hoewel dit effect niet statistisch significant was ($P > 0,10$). Figuur 17 laat geen direct verband zien met de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van de strooisel of met de hoeveelheid strooisel die verwijderd wordt.



Figuur 17 Verhouding tussen de CH₄-emissie na het verwijderen van strooisel (*case*) en de emissies vóór het verwijderen van strooisel (*controle*). Boven: relatie t.o.v. de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van strooisel. Onder: relatie t.o.v. het verschil in dikte tussen *case* en *controle*.

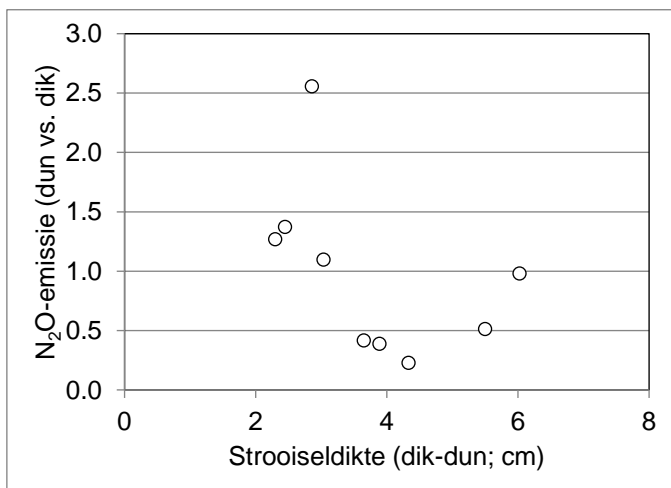
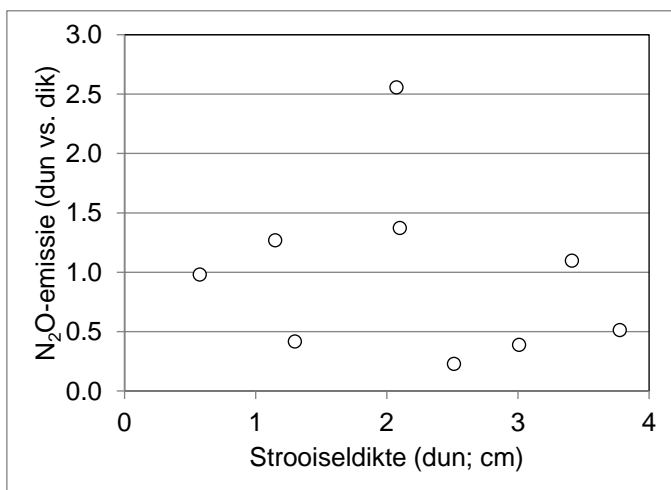
3.8 Lachgas (N₂O)

In figuur 16 worden de N₂O-emissies en de gemeten emissiereducties weergegeven. De meetdata bevatte geen uitbijters. Gemiddeld over alle metingen (tabel 7 en figuur 18) bedroeg de N₂O-emissie $0,44 \pm 0,30$ g/jaar per geplaatst dier (emissies gecorrigeerd door 4% leegstand) in de meetperioden met een dikke strooisel-laag, en $0,31 \pm 0,23$ g/jaar per geplaatst dier in de meetperioden met een dunne strooisel-laag. De gemiddelde emissie (gecorrigeerd door 4% leegstand) over alle metingen (dikke en dunne strooisel-laag) was $0,39 \pm 0,28$ g/jaar per geplaatst dier. Dit is beduidend lager dan de emissies ($10,8 \pm 3,9$ g/jaar per geplaatst dier) gerapporteerd in Winkel e.a. (2011) bij metingen aan vier bedrijven met leghennen in voliërehuisvesting. De gemiddelde emissie in Winkel e.a. (2011) was gebaseerd op 22 metingen verdeeld over het gehele jaar.



Figuur 18 Boven: gemiddelde N₂O-emissie op alle verschillende meetdagen. dpl: geplaatste dieren. Open symbolen: emissie vóór het verwijderen van strooisel (controle); Gesloten symbolen: emissie na verwijdering van strooisel (case). Onder: verhouding tussen de N₂O-emissie na het verwijderen van strooisel (case) en de emissies vóór het verwijderen van strooisel (controle). De verticale lijnen worden gebruikt om onderscheid te maken tussen de metingen bij de verschillende meetlocaties.

De gemiddelde N₂O-emissiereductie door het verwijderen van strooisel in de stal over alle metingen was in onderhavige studie 2 ± 24 % (figuur 14). Dit effect wijkt niet significant af van nul ($P > 0,10$). Figuur 19 laat geen direct verband zien met de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van de strooisel, of met de hoeveelheid strooisel die verwijderd wordt.



Figuur 19 Verhouding tussen de N₂O-emissie na het verwijderen van strooisel (case) en de emissies vóór het verwijderen van strooisel (controle). Boven: relatie t.o.v. de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van strooisel. Onder: relatie t.o.v. het verschil in dikte tussen case en controle.

Tabel 7A Resultaten (gemiddelde 24-uurs NH₃-, PM10-, geur-, CH₄- en N₂O-emissies) tijdens de metingen bij meetlocatie 1. dpl: geplaatste dier

Resultaten	Meting 1		Meting 2	
	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag
Datum meetdag	1-5-2014	8-5-2014	16-10-2014	30-10-2014
Dag in het jaar	121	128	289	303
Dag in ronde	188	195	356	370
CO ₂ stal [ppm]	1178	1403	1190	1160
CO ₂ buiten [ppm]	484	544	495	518
Debiet [m ³ /uur/dier]	3,2	2,5	3,1	3,4
NH ₃ stal [ppm]	12,25	8,87	18,48	13,94
NH ₃ buiten [ppm]	0,16	0,16	0,45	0,51
NH ₃ -emissie [g/dpl/jaar]	233,0	134,6	309,7	257,2
PM10 stal [mg m ⁻³]	2,46	1,85	4,00	2,68
PM10 buiten [mg m ⁻³]	0,12	0,12	0,10	0,05
PM10-emissie [g/dpl/jaar]	63,7	37,6	94,6	71,1
Geur stal [OU _E m ⁻³]	---	---	608	1117
Geuremissie [OU _E /dpl/s]	---	---	0,47	0,96
CH ₄ stal [ppm]	---	---	2,83	4,18
CH ₄ buiten [ppm]	---	---	2,18	3,41
CH ₄ -emissie [g/dpl/jaar]	---	---	10,4	13,9
N ₂ O stal [ppm]	---	---	0,31	0,31
N ₂ O buiten [ppm]	---	---	0,30	0,30
N ₂ O-emissie [g/dpl/jaar]	---	---	0,33	0,32

Tabel 7B Resultaten (gemiddelde 24-uurs NH₃-, PM10-, geur-, CH₄- en N₂O-emissies) tijdens de metingen bij meetlocatie 2. dpl: geplaatste dier

Resultaten	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag
Datum meetdag	15-5-2014	21-5-2014	19-10-2015	26-10-2015	10-6-2016	17-6-2016
Dag in het jaar	135	141	292	299	162	169
Dag in ronde	177	183	283	290	518	525
CO ₂ stal [ppm]	2000	800	1421	1373	819	1173
CO ₂ buiten [ppm]	611	516	437	421	385	411
Debiet [m ³ /uur/dier]	1,6	7,1	2,1	2,2	4,7	2,9
NH ₃ stal [ppm]	11,71	2,82	18,06	10,77	7,41	7,43
NH ₃ buiten [ppm]	0,08	0,09	0,07	0,09	0,10	0,14
NH ₃ -emissie [g/dpl/jaar]	110,6	117,0	232,7	141,6	204,3	124,4
PM10 stal [mg m ⁻³]	2,40	0,61	1,21	0,88	1,44	2,01
PM10 buiten [mg m ⁻³]	0,04	0,06	0,02	0,01	0,01	0,06
PM10-emissie [g/dpl/jaar]	31,7	33,4	21,8	16,2	56,4	47,1
Geur stal [OU _E m ⁻³]	---	---	948	1113	590	618
Geuremissie [OU _E /dpl/s]	---	---	0,55	0,66	0,74	0,47
CH ₄ stal [ppm]	---	---	3,15	3,01	2,52	2,99
CH ₄ buiten [ppm]	---	---	2,42	2,12	1,87	2,19
CH ₄ -emissie [g/dpl/jaar]	---	---	8,9	11,1	17,2	12,9
N ₂ O stal [ppm]	---	---	0,32	0,32	0,36	0,40
N ₂ O buiten [ppm]	---	---	0,30	0,29	0,35	0,39
N ₂ O-emissie [g/dpl/jaar]	---	---	0,67	0,85	0,37	0,51

Tabel 7C Resultaten (gemiddelde 24-uurs NH₃-, PM10-, geur-, CH₄- en N₂O-emissies) tijdens de metingen bij meetlocatie 3. dpl: geplaatste dier.

Resultaten	Meting 1		Meting 2	
	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag
Datum meetdag	17-6-2014	20-6-2014	2-2-2015	9-2-2015
Dag in het jaar	168	171	33	40
Dag in ronde	179	182	409	416
CO ₂ stal [ppm]	1115	1070	2342	1943
CO ₂ buiten [ppm]	541	559	577	638
Debiet [m ³ /uur/dier]	3,3	3,8	1,2	1,6
NH ₃ stal [ppm]	8,30	5,23	26,73	19,17
NH ₃ buiten [ppm]	0,20	0,66	1,85	2,73
NH ₃ -emissie [g/dpl/jaar]	164,6	104,6	171,0	153,2
PM10 stal [mg m ⁻³]	2,37	1,44	3,83	2,86
PM10 buiten [mg m ⁻³]	0,20	0,51	0,22	0,07
PM10-emissie [g/dpl/jaar]	62,3	30,0	35,1	36,7
Geur stal [OU _E m ⁻³]	---	---	1028	597
Geuremissie [OU _E /dpl/s]	---	---	0,32	0,25
CH ₄ stal [ppm]	---	---	2,93	2,63
CH ₄ buiten [ppm]	---	---	1,94	1,90
CH ₄ -emissie [g/dpl/jaar]	---	---	6,4	6,4
N ₂ O stal [ppm]	---	---	0,33	0,33
N ₂ O buiten [ppm]	---	---	0,33	0,32
N ₂ O-emissie [g/dpl/jaar]	---	---	0,02	0,04

Tabel 7D Resultaten (gemiddelde 24-uurs NH₃-, PM10-, geur-, CH₄- en N₂O-emissies) tijdens de metingen bij meetlocatie 4. dpl: geplaatste dier.

Resultaten	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag
Datum meetdag	10-7-2014	17-7-2014	16-10-2014	23-10-2014	4-2-2015	11-2-2015
Dag in het jaar	191	198	289	296	35	42
Dag in ronde	189	196	287	294	398	405
CO ₂ stal [ppm]	814	812	1130	1300	2501	2195
CO ₂ buiten [ppm]	470	476	564	502	494	524
Debiet [m ³ /uur/dier]	5,7	5,7	3,5	2,5	1,1	1,3
NH ₃ stal [ppm]	4,25	3,39	8,12	4,78	14,42	13,54
NH ₃ buiten [ppm]	0,26	0,14	1,67	0,44	0,25	0,22
NH ₃ -emissie [g/dpl/jaar]	139,7	113,7	132,8	63,3	87,0	97,3
PM10 stal [mg m ⁻³]	1,89	1,48	5,47	4,48	3,85	3,10
PM10 buiten [mg m ⁻³]	0,15	0,16	0,33	0,06	0,01	0,04
PM10-emissie [g/dpl/jaar]	86,2	64,9	149,0	91,2	33,3	31,6
Geur stal [OU _E m ⁻³]	---	---	636	454	2221	1573
Geuremissie [OU _E /dpl/s]	---	---	0,59	0,30	0,61	0,51
CH ₄ stal [ppm]	---	---	3,05	3,74	4,43	5,01
CH ₄ buiten [ppm]	---	---	2,33	2,63	2,22	1,89
CH ₄ -emissie [g/dpl/jaar]	---	---	13,9	15,4	12,8	21,4
N ₂ O stal [ppm]	---	---	0,32	0,33	0,32	0,32
N ₂ O buiten [ppm]	---	---	0,31	0,32	0,31	0,30
N ₂ O-emissie [g/dpl/jaar]	---	---	0,52	0,22	0,22	0,25

Tabel 7E Resultaten (gemiddelde 24-uurs NH₃-, PM10-, geur-, CH₄- en N₂O-emissies) tijdens de metingen bij meetlocatie 5. dpl: geplaatste dier.

Resultaten	Meting 1		Meting 2		Meting 3	
	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag	Dikke laag	Dunne laag
Datum meetdag	10-7-2014	17-7-2014	16-10-2014	23-10-2014	4-2-2015	11-2-2015
Datum meetdag	16-11-2015	23-11-2015	29-3-2016	5-4-2016	13-6-2016	20-6-2016
Dag in het jaar	320	327	89	96	165	172
Dag in ronde	406	413	540	547	616	623
CO ₂ stal [ppm]	1566	2310	2175	1955	1150	1083
CO ₂ buiten [ppm]	396	396	394	396	392	396
Debiet [m ³ /uur/dier]	1,8	1,1	1,2	1,4	2,8	3,1
NH ₃ stal [ppm]	23,12	27,66	36,51	38,33	17,57	11,88
NH ₃ buiten [ppm]	0,06	0,10	0,12	0,07	0,05	0,09
NH ₃ -emissie [g/dpl/jaar]	233,2	181,3	252,4	303,5	275,4	202,4
PM10 stal [mg m ⁻³]	4,65	5,15	2,45	2,19	2,34	1,28
PM10 buiten [mg m ⁻³]	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
PM10-emissie [g/dpl/jaar]	66,2	47,8	24,0	24,5	51,8	30,7
Geur stal [OU _E m ⁻³]	978	1184	1493	1124	697	478
Geuremissie [OU _E /dpl/s]	0,44	0,35	0,46	0,40	0,49	0,37
CH ₄ stal [ppm]	3,66	4,63	6,28	5,31	3,47	3,09
CH ₄ buiten [ppm]	1,92	2,00	2,32	2,08	1,85	1,85
CH ₄ -emissie [g/dpl/jaar]	16,5	16,3	25,8	24,1	24,0	19,9
N ₂ O stal [ppm]	0,36	0,34	0,33	0,37	0,42	0,45
N ₂ O buiten [ppm]	0,32	0,31	0,32	0,36	0,40	0,44
N ₂ O-emissie [g/dpl/jaar]	1,08	0,42	0,27	0,14	0,69	0,16

4 Conclusies

In dit rapport worden de resultaten gerapporteerd van de metingen die in het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) zijn uitgevoerd om het effect van het verwijderen van strooisel (om een dunne strooisel-laag in de stal te realiseren) op de emissie van ammoniak, fijnstof, geur en overige broeikasgassen (methaan, lachgas) bij het huisvesten van leghennen te bepalen. De metingen zijn uitgevoerd volgens het zogenaamde 'case-control in de tijd' strategie binnen dezelfde stal. Aan het begin van een meetperiode werd een 24-uursmeting verricht in de stal zoals aangetroffen, d.w.z. met een dikke strooisel-laag (controle-meting). Daarna werd een deel van de strooisel uit de stal verwijderd, en na een periode van 2-3 dagen een tweede 24-uursmeting uitgevoerd in de stal met een dunne strooisel-laag (case-meting).

NH₃- en PM10-emissies na verwijdering van strooisel (case) waren zwak significant ($0,05 < P < 0,10$) verschillend van de emissies vóór verwijdering van strooisel (controle). De gemiddelde NH₃-emissiereductie door het verwijderen van strooisel in de stal over alle metingen was in onderhavige studie 20 ± 6 %. Voor PM10 werd een gemiddelde emissiereductie van 22 ± 5 % gemeten.

Voor zowel NH₃ als PM10 was de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van de strooisel belangrijker dan de hoeveelheid strooisel die verwijderd werd om emissies te kunnen reduceren. De reductie is groter wanneer de dikte van de strooisel-laag na verwijdering kleiner is dan 2-3 cm. In dat geval kan een NH₃- en PM10-emissiereductie van 25-35% worden bereikt.

Deze studie laat geen significant effect zien door het verwijderen van strooisel in de stal op de geuremissies. Dit komt voornamelijk door de eerste twee meetseries, waar een hogere in plaats van een lagere geuremissies werd gemeten na het verwijderen van het strooisel. De andere zeven meetseries laten zien dat strooiselverwijdering potentie heeft om geuremissies sterk te kunnen reduceren. De gemiddelde emissiereductie van deze zeven metingen was 26 ± 5 %, en het effect was significant ($P < 0,05$). Er is geen direct verband aangetroffen tussen de geuremissie en de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van de strooisel, of tussen de geuremissie en de hoeveelheid strooisel die verwijderd werd.

De data in onderhavige studie laat geen significant effect zien van het verwijderen van strooisel in de stal op de CH₄- en N₂O-emissies. Er is ook geen directe verband aangetroffen tussen deze emissies en de dikte van de strooisel-laag na het verwijderen van de strooisel, of tussen deze emissies en de hoeveelheid strooisel die werd verwijderd.

Literatuur

- CEN standard 13725. 2003. Air quality - determination of odour concentration by dynamic olfactometry, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- CIGR. 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S.; K. Sällvik).
- Groenestein, C.M., J. Mosquera en N.W.M. Ogink. 2011. Protocol voor meting van methaanemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 493, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Groot Koerkamp, P.W.G. and B. Reitsma, 1997. De ammoniakemissie uit een volièrestal voor leghennen met het etagesysteem. Rapport 97-05. DLO-IMAG, Wageningen.
- Hofschreuder, P., Y. Zhao, A. J. A. Aarnink, en N. W. M. Ogink. 2008. Measurement protocol for emissions of fine dust from animal housings. Considerations, draft protocol and validation. Report 134, Animal Sciences Group, Lelystad.
- Mosquera, J., C.M. Groenestein en N.W.M. Ogink. 2011. Protocol voor meting van lachgasemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 494, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- NEN-EN 12341. 1998. Luchtkwaliteit - bepaling van de pm10 fractie van zwevend stof - referentiemethode en veldonderzoek om de referentiegieljkwaardigheid aan te tonen van meetmethoden, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- NEN-EN 14907. 2005. Ambient air quality - standard gravimetric measurement method for the determination of the pm2,5 mass fraction of suspended particulate matter, Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- Ogink, N.W.M., 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, 31 pp.
- Ogink, N.W.M.. 2011. Protocol voor meting van geuremissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 491, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Ogink, N.W.M., P. Hofschreuder en A.J.A. Aarnink. 2011. Protocol voor meting van fijnstofemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2010. Rapport 492, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Ogink, N.W.M., J. Mosquera en J.M.G. Hol. 2013. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013. Rapport 726, Wageningen UR Livestock, Lelystad, The Netherlands.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, M.J.W. Heetkamp, en A.J.A. Aarnink. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal. Manuscript BC 08 008, Vol. X. December, 2008.
- Van Emous, R.A., H.H. Ellen, en Th.G.C.M. Fiks-van Niekerk. 2004. Inrichting, verlichting, ammoniak en stof bij volièreonderzoek (2^e proef). Praktijk Rapport Pluimvee 14.
- Van Emous, R.A., J. van Harn, en A.J.A. Aarnink. 2009. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij: effecten van strooisellaagdikte. Rapport 254, Animal Sciences Group, Lelystad, The Netherlands.
- Van Harn, J., H.H. Ellen, T. Veldkamp, A.J.A. Aarnink, 2012. Effect van huisvestings- en managementmaatregelen op de ammoniakemissie bij leghennen, vleeskuikens, kalkoenen en eenden. Wageningen UR Livestock Research 560, Lelystad. Nog niet gepubliceerd.
- Winkel, A., J. Mosquera, J.M.G. Hol, G.M. Nijboer, N.W.M. Ogink, en A.J.A. Aarnink. 2011. Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in volièrehuisvesting. Wageningen UR Livestock Research Rapport 278.
- Wintjens, Y. 1993. Gaswasfles. In Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak- problematiek in de veehouderij 16 (eds E.N.J. van Ouwerkerk), pp. 38-40. DLO, Wageningen.
- Zhao, Y., A.J.A. Aarnink, P. Hofschreuder, en P.W.G. Groot Koerkamp. 2009. Validation of cyclone as a pre-separator for airborne dust sampling in animal houses. Aerosol Science 40: 868 – 878.

Bijlage 1 Foto's van de bedrijfssituatie

Meetlocatie 1



Luchtfoto (Google maps)



Buitenkant van de stal



Binnenzijde stal



Luchtuitlaat met ventilatoren (binnenzijde)



Buitenkant van de stal met meetapparatuur

Meetlocatie 2



Luchtfoto (Google maps)



Buitenkant van de stal



Binnenzijde stal



Luchtinlaat (binnenzijde)



Luchttuitlaat met ventilatoren (binnenzijde)

Meetlocatie 3



Luchtfoto (Google maps)



Binnenzijde stal



Luchtinlaat (binnenzijde)



Luchtuitlaat met ventilatoren (binnenzijde)

Meetlocatie 4



Luchtfoto (Google maps)



Buitenkant van de stal



Binnenzijde stal



Luchtinlaat (binnenzijde)



Luchtitlaat met ventilatoren

Meetlocatie 5



Luchtfoto (Google maps)



Buitenkant van de stal



Luchtinlaat (buitenzijde)



Luchtuitlaat met ventilatoren (buitenzijde)



Luchtuitlaat (binnenzijde)

Bijlage 2 Voersamenstelling

Meetlocatie 1

Volledig diervoeder voor legkippen. Uitsluitend te gebruiken voor doeldieren.

Dit voer is geschikt voor kat-productie en voldoet aan de voorwaarden van Voederwaarde.nl.

Analytische bestanddelen (per kg):

Ruw as	127	g
Ruw eiwit	160	g
Ruw vet	51	g
Ruw celstof	44	g
Lysyne	7,6	g
Methionine	3,8	g
Calcium	40	g
Fosfor	4,7	g
Natrium	1,8	g

Samenstelling:

Mais (uit gg maïs), Tarwe, Zonnebloemzaadschroot, Koolzure voederkalk, Sojaproducten (uit gg soja), Kool- en raapzaadschroot, Dierlijk vet, Premix, Maïsglutenmeel, Natriumchloride, Monocalciumfosfaat, Natriumbicarbonaat.

Vitaminen (per kg):

E672 Vitamine A	10000 IE
E671 Vitamine D3	2250 IE
Vitamine E (Eq.)	25 IE

Spoorelementen (per kg):

E4 Cu (Cu-sulfaat)	10 mg
E6 Zn (Zn-sulfaat)	100 mg

Verteringsbevorderaars (per kg):

4a1600 3-fytase	300 FTU
E1604 endo-1, 4-beta-xylanase	70 e
E1604 endo-1, 3(4)-beta-glucanase	100 e

Kleurstoffen (per kg):

E16 1i citranaxanthine	3,5 mg
------------------------	--------

Meetlocatie 2

Volledig diervoeder voor leghennen.

Analytische bestanddelen (per kg):

Ruw as	116	g
Ruw eiwit	159	g
Ruw vet	55	g
Ruw celstof	52	g
Lysine	7,8	g
Methionine	3,9	g
Calcium	34	g
Fosfor	5,0	g
Natrium	1,6	g

Sensoriële toevoegmiddelen (per kg):

E161g Canthaxanthine 3,0 mg

Nutritionele toevoegmiddelen (per kg):

E672 Vitamine A	7508	IE
E671 Vitamine D3	2252	IE
E3a700 Vitamine E (all-rac-alfatocoferocetaat)	10	mg
E4 Kopersulfaat, pentahydraat	15	mg
E6 Zinksulfaat, monohydraat	55	mg
E5 Mangaan oxide	70	mg
E8 Natrium seleniet	0,2	mg
E2 Kaliumiodide	1	mg
E1 IJzersulfaat, monohydraat	40	mg

Zoötechnische toevoegmiddelen (per kg):

E4a1640 6-fytase EC 3.1.3.26	352	FTU
E1606 Endo 1, 4-beta Xylanase	1055	EPU

Samenstelling:

Maïs⁽¹⁾, Tarwe, Zonnebloemzaadschroot, Calciumcarbonaat, Kool- en raapzaadschroot, Sojaschroot, Getoast⁽²⁾ plantaardige olie (palm), Gefermenteerde maïs, Plantaardige olie (soja), Premix, Vetzuren, Maïskiemmen, Voederfosfaat, Dierlijk vet, Natriumchloride, Natrium-bicarbonaat.

Bevat dicalciumfosfaat uit ontvette beenderen: niet geschikt voor het vervoederen aan herkauwers.

⁽¹⁾ Geproduceerd met genetisch gemodificeerde maïs

⁽²⁾ Geproduceerd uit genetisch gemodificeerde sojabonen

Meetlocatie 3

Volledig diervoeder voor leghennen.

Rantsoensamenstelling		DS	Rantsoen	Rantsoen (88,96 DS)	Droog (100DS)
Ingrediënt		%	Kg	%	%
1062.00	TARWE (2013)	86,00	11,00	11,00	10,63
1091.01	MAIS (AO-EU)	86,50	44,21	44,21	42,99
1364.00	BRAZ SOYASCHROOT HIPRO	87,90	7,95	7,95	7,86
2131.00	SOJAOLIE	99,50	0,60	0,60	0,67
8520.00	CACO3/EISCHALEN	99,00	6,00	6,00	6,68
14771.00	Legmeel 1 dd aanvullend verbeek	91,70	30,24	30,24	31,17
			100,00	100,00	100,00

Analyse rantsoen

Code	Omschrijving	Rantsoen (88,96 DS)	Compl	Code	Omschrijving	Rantsoen (88,96 DS)	Compl
001	Re	160,00	239,32	g	028	bCap	53,52 g
002	Rvet	48,40	77,54	g	030	BPp	2,01 g
003	RC	47,43	105,54	g	032	oP mild	7,78 g
004	As	123,44	183,38	g	033	oPintens	7,69 g
007	Zetmeel	372,23	64,77	g	050	V.LYSp	10,54 g
026	Ca	34,66	49,07	g	051	V.METp	7,15 g
031	P	4,98	10,29	g	052	V.M+Cp	10,65 g
036	Na	1,40	4,39	g	222	Opl. NSPp	48,29 g
037	K	6,92	10,53	g	181/0	v NEAZ p/v Lys p	9,84
086	C18:2	21,73	32,54	g	50		
300	Vit.A	10.050,25	33.233,43	ie	351	Citranax	14,00 mg
301	Vit.D3	2.512,56	8.308,36	ie			
302	Vit.E	25,13	83,08	ie			
006	Ds	889,58	917,03	g			
013	E_Leg	2.850,00	2.215,84	kcal			

Complementsamenstelling

1049.00	GERST (GEWALST)	3,307 %
1125.00	MAISGL.VOERM. 20-23% RE	18,201 %
1164.00	TARWEGRIES kwaliteit	6,613 %
1352.00	RAAPZAADSCHROOT	16,024 %
1395.00	ZONNEBL.Z.SCHR. 38RE	34,486 %
2185.00	LECITHINE	6,010 %
2436.00	SALCURB RM EXTRA LIQUID	0,050 %
2510.00	KALKSTEENTJES (grof)	10,800 %
2521.00	MONO-CAL-FOSFAAT	0,486 %
2526.00	NATRIUMBICARBONAAT	0,554 %
2531.00	ZOUT	0,554 %
2808.00	METHIONINE (DL,99%)	0,301 %
2813.00	L-LYSINE HCL	0,397 %
3083.00	m2863 LEG	1,323 %
3124.00	m2374 ROOD-HC(Citran	0,893 %
Totaal :		100,000 %

Meetlocatie 4

Volledig diervoeder voor legkippen, Kat-waardig.

Analytische bestanddelen (per kg):

Ruw as	117	g
Ruw eiwit	162	g
Ruw vet	50	g
Ruw celstof	49	g
Lysine	7,7	g
Methionine	3,6	g
Calcium	35	g
Fosfor	4,1	g
Natrium	1,6	g
Kalium	7,2	g

Nutritionele toevoegmiddelen (per kg):

E672 Vitamine A	10000	IE
E671 Vitamine D3	2500	IE
E1 IJzersulfaat, monohydraat	70	mg
E6 Zinksulfaat	80	mg
E5 Mangaan oxide	80	mg
E4 Kopersulfaat, pentahydraat	15	mg
E8 Natrium seleniet	0,2	mg
E2 Kaliumiodide	1	mg

Zoötechnische toevoegmiddelen (per kg):

E4a1640 6-fytase EC 3.1.3.26	500	FTU
E1606 Endo 1, 4-beta Xylanase EC 3.2.1.8	8	IU
E16 1i Citranaxanthine	4,8	mg

Samenstelling:

Maïs, Tarwe, Sojaschroot Hipro⁽¹⁾, Zonnebloemzaadschroot, Koolzure voederkalk, Graan bijproduct, Raapschilfers, Plantaardige olie⁽²⁾, Vetten, Mineralen en vitaminen, Enzymen, Kleurpremix, Zout, Amino-zuren, Monocalciumfosfaat.

⁽¹⁾ Dit product bevat ggo soja

⁽²⁾ Deze plantaardige olie is afkomstig van ggo soja

Meetlocatie 5

Volledig diervoeder voor legkippen.

Het geleverde diervoeder voldoet aan de voorwaarden van GMP+ BCN-NL1 Antibioticavrij diervoeder, KAT (NL-3861-01), en GGE. Voldoet aan de voorwaarden van Voederwaarde.nl

Analytische bestanddelen (per kg):

Ruw as	134	g
Ruw eiwit	162	g
Ruw vet	50	g
Ruw celstof	50	g
Lysine	7,5	g
Methionine	3,7	g
Calcium	41,5	g
Fosfor	4,9	g
Natrium	1,5	g

Nutritionele toevoegmiddelen (per kg):

E672 Vitamine A	10000	IE
E671 Vitamine D3	2510	IE
Vitamine E	25	IE
E4 Kopersulfaat, pentahydraat	15	mg
E1 IJzersulfaat	80	mg
E5 Mangaan oxide	101	mg
E6 Zinksulfaat , monohydraat	101	mg
E2 Kaliumiodide	2	mg
E8 Natrium seleniet	0,3	mg

Zoötechnische toevoegmiddelen (per kg):

E4a1640 6-fytase EC 3.1.3.26	600	FTU
E1606 Endo 1, 4-beta Xylanase EC 3.2.1.8	10	FTU

Technologische toevoegmiddelen (per kg):

E324 Ethoxyquine	0,2	mg
E310 Propylgalaat	1	mg
E321 BHT	2	mg

Samenstelling:

Maïs⁽²⁾, Zonnebloemzaadschroot, Tarwe, Koolzure voederkalk, Sojaschroot⁽¹⁾, Raapzaadschroot, Raapschilfers, Tarweglutenvoermeel, Soja olie lecithine⁽¹⁾, Soja olie vetzuren⁽¹⁾, Natriumbicarbonaat, Soja olie⁽¹⁾, Pluimvee vet, Palmolie, Natriumchloride, Monocalciumfosfaat.

⁽¹⁾ Dit product is geproduceerd uit genetisch gemodificeerde soyabonen

⁽²⁾ Dit product is geproduceerd uit genetisch gemodificeerde maïs

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

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

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

