



# Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: emissiemetingen en verspreidingsmodellering

Emissions of endotoxins from animal production: emission measurements and dispersion modelling

N.W.M. Ogink, J.J. Erbrink (eindredactie), D.J.J. Heederik, A. Winkel en I.M. Wouters



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN **UR**



---

# Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: emissiemetingen en verspreidingsmodellering

Emissions of endotoxins from animal production: emission measurements and dispersion modelling

## *Eindredactie*

N.W.M. Ogink en J.J. Erbrink

## *Auteurs*

Dit rapport is tot stand gekomen door een multidisciplinair projectteam bestaande uit de volgende onderzoekers (in alfabetische volgorde):

J.J. Erbrink <sup>1</sup>, D.J.J. Heederik <sup>2</sup>, N.W.M. Ogink <sup>3</sup>, A. Winkel <sup>3</sup> en I.M. Wouters <sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Erbrink Stacks Consult*

<sup>2</sup> *Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht*

<sup>3</sup> *Livestock Research, Wageningen University and Research Centre*

Wageningen, juni 2016

Livestock Research Rapport 959

---

Ogink, N.W.M. en Erbrink, J.J. (eindredactie), 2016. *Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: emissiemetingen en verspreidingsmodellering* [Emissions of endotoxins from animal production: emission measurements and dispersion modelling]. Wageningen, Wageningen University & Research Centre, Livestock Research (auteurs: N.W.M. Ogink en A. Winkel), Erbrink Stacks Consult (auteur: J.J. Erbrink), Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht (auteurs: I.M. Wouters en D.J.J. Heederik), Livestock Research Rapport 959. 95 blz. <http://dx.doi.org/10.18174/385497>.

### Synopsis

In dit rapport worden twee deelonderzoeken beschreven. In het eerste deel (A) zijn metingen verricht van stof en endotoxinen in het stof bij twee stallen voor leghennen, twee stallen voor vleeskuikens en twee stallen voor vleesvarkens. Op grond van deze meetgegevens is in het tweede deel (B) van dit onderzoek de endotoxineconcentraties in de omgeving van een aantal fictieve stallen berekend. Voor deze specifieke toepassing is een variant van het Nieuw Nationaal Model verder verfijnd. Ook zijn de concentraties van fijn stof en geur berekend voor deze stallen m.b.v. de verspreidingsmodellen die daarvoor in vergunningsverlening worden gebruikt. Voor elk van deze drie componenten en voor elk van de fictieve stallen is de afstand bepaald tot waar overschrijding plaatsvindt van de bijbehorende grenswaarde (de zogenaamde overschrijdingsafstand). Voor endotoxinen is hierbij de door de Gezondheidsraad voorgestelde grenswaarde voor endotoxinen van 30 endotoxine eenheden per kubieke meter gehanteerd. Uit de berekeningen blijkt dat bij pluimveestallen de overschrijdingsafstand voor endotoxinen in het merendeel van de doorgerekende scenario's groter is dan voor fijn stof en geur. Bij deze stallen lift de bescherming tegen te hoge endotoxineconcentraties in de buitenlucht dus niet automatisch mee op de bestaande toetsingskaders voor fijn stof en geur.

### Abstract

This report describes a study carried out in two parts. In the first part (A), measurements of dust and endotoxins in this dust were carried out at two houses for laying hens, two houses for broilers and two houses for fattening pigs. On the basis of these measurement data, the endotoxin concentrations were calculated in the vicinity of a number of fictitious farms in the second part (B). For this specific application, a variant of the New National Model was refined. The concentrations of dust and odour were also calculated for these farms using dispersion models prescribed for this purpose in environmental permit granting procedures. For each of the three components and for each of the fictitious farms, the distance was determined up to where the corresponding limit value is exceeded (the so-called exceedance distance). For endotoxins, the proposed limit value for endotoxins in the ambient air by the Dutch Health Council of 30 endotoxin units per cubic meter was applied. The calculations show that around poultry farms in the majority of modelled scenarios, the exceedance distance for endotoxins is greater than for dust and odour. Thus, around these farms, the existing assessment frameworks for fine dust and odour are not sufficient to provide the desired level of protection against endotoxins.

### Omslagfoto

De foto op de voorzijde toont monsternamen van PM10 in de buitenlucht met op de achtergrond een veehouderijbedrijf. Foto: Kees Rutten.

© 2016 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/livestockresearch](http://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

|                                                      |           |
|------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Woord vooraf</b>                                  | <b>5</b>  |
| <b>Verklaring van afkortingen en begrippen</b>       | <b>7</b>  |
| <b>Samenvatting</b>                                  | <b>11</b> |
| <b>Summary</b>                                       | <b>16</b> |
| <b>1 Inleiding</b>                                   | <b>22</b> |
| <b>DEEL A: emissiemetingen</b>                       | <b>25</b> |
| <b>2 Werkwijze emissiemetingen</b>                   | <b>26</b> |
| 2.1 Stallocaties                                     | 26        |
| 2.2 Meetstrategie en gemeten variabelen              | 26        |
| 2.3 Meetmethoden                                     | 27        |
| 2.4 Weging stoffilters en bepaling endotoxinegehalte | 27        |
| 2.5 Bepaling van het ventilatiedebiet                | 27        |
| 2.6 Berekening van emissies                          | 28        |
| 2.7 Registratie productiekenngetallen                | 28        |
| 2.8 Statistische analyse: variantiecomponenten       | 29        |
| <b>3 Resultaten emissiemetingen</b>                  | <b>30</b> |
| 3.1 Productiekenngetallen, klimaat en ventilatie     | 30        |
| 3.2 Concentraties van stof                           | 30        |
| 3.3 Deeltjesgrootteverdeling van het stof            | 30        |
| 3.4 Endotoxinegehalte in het stof                    | 31        |
| 3.5 Emissies van stof                                | 32        |
| 3.6 Concentraties van endotoxinen                    | 33        |
| 3.7 Emissies van endotoxine                          | 34        |
| 3.8 Variantiecomponenten                             | 34        |
| <b>DEEL B: verspreidingsmodellering</b>              | <b>36</b> |
| <b>4 Werkwijze verspreidingsmodellering</b>          | <b>37</b> |
| 4.1 Werkwijze in het kort                            | 37        |
| 4.2 Stallen waarvoor de modellering is uitgevoerd    | 38        |
| 4.3 Deeltjesgrootteverdelingen in het model          | 38        |
| 4.4 Endotoxinegehalten in het model                  | 41        |
| 4.5 Samenvatting aanpassingen van het model          | 42        |

---

|                    |                                                                                             |           |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.6                | Samenvatting uitgangspunten voor het model                                                  | 44        |
| <b>5</b>           | <b>Resultaten verspreidingsmodellering</b>                                                  | <b>46</b> |
| <b>6</b>           | <b>Gevoeligheidsanalyse verspreidingsmodellering</b>                                        | <b>50</b> |
| 6.1                | Invloed van depositiegedrag van de deeltjes                                                 | 50        |
| 6.2                | Invloed van pluimdaling                                                                     | 54        |
| 6.3                | Invloed van variatie in 4-uursgemiddelde waarden                                            | 54        |
| 6.4                | Invloed van terreinruwheid                                                                  | 54        |
| <b>DEEL A en B</b> |                                                                                             | <b>55</b> |
| <b>7</b>           | <b>Discussie</b>                                                                            | <b>56</b> |
| <b>8</b>           | <b>Conclusies en aanbevelingen</b>                                                          | <b>59</b> |
|                    | <b>Geciteerde bronnen</b>                                                                   | <b>61</b> |
|                    | <b>Bijlage A: beschrijving en foto's stallocaties</b>                                       | <b>63</b> |
|                    | <b>Bijlage B: gedetailleerde beschrijving van gebruikte meetmethoden</b>                    | <b>75</b> |
|                    | <b>Bijlage C: foto-impressies emissiemetingen</b>                                           | <b>81</b> |
|                    | <b>Bijlage D: protocol voor handling / weging filters en bepaling endotoxinegehalte</b>     | <b>82</b> |
|                    | <b>Bijlage E: bepaling ventilatiedebiet met de CO<sub>2</sub>-balansmethode</b>             | <b>83</b> |
|                    | <b>Bijlage F: resultaten productiekenngetallen</b>                                          | <b>85</b> |
|                    | <b>Bijlage G: resultaten klimaat en ventilatie</b>                                          | <b>86</b> |
|                    | <b>Bijlage H: resultaten ventilatieprofielen</b>                                            | <b>87</b> |
|                    | <b>Bijlage I: resultaten concentratieprofielen stof</b>                                     | <b>88</b> |
|                    | <b>Bijlage J: resultaten emissieprofielen stof</b>                                          | <b>89</b> |
|                    | <b>Bijlage K: resultaten deeltjesgrootteverdeling (0,25 tot 32 µm)</b>                      | <b>90</b> |
|                    | <b>Bijlage L: resultaten variantiecomponenten (natuurlijke logschaal)</b>                   | <b>91</b> |
|                    | <b>Bijlage M: kaart gemodelleerde regio's</b>                                               | <b>92</b> |
|                    | <b>Bijlage N: figuren overschrijdingsafstanden uit modelberekeningen</b>                    | <b>93</b> |
|                    | <b>Bijlage O: figuren overschrijdingsafstanden uit gevoeligheidsanalyse depositiegedrag</b> | <b>94</b> |
|                    | <b>Bijlage P: samenstelling klankbordgroep</b>                                              | <b>95</b> |





---

# Woord vooraf

Voor u ligt het tweede rapport in de serie 'Emissies van endotoxinen uit de veehouderij': emissiemetingen en verspreidingsmodellering.

In dit rapport worden twee deelonderzoeken beschreven. In het eerste deel (A) zijn stofmetingen en metingen aan endotoxinen in het stof verricht in de ventilatielucht van twee stallen voor leghennen, twee stallen voor vleeskuikens en twee stallen voor vleesvarkens. Op grond van deze meetgegevens is in het tweede deel (B) van dit onderzoek de endotoxineconcentraties in de omgeving van een aantal fictieve stallen berekend. Voor deze specifieke toepassing is een variant van het Nieuw Nationaal Model verder verfijnd. Ook zijn de concentraties van fijn stof en geur berekend voor deze stallen m.b.v. de verspreidingsmodellen die daarvoor in vergunningsverlening worden gebruikt. Voor elk van deze drie componenten en voor elk van de fictieve stallen is de afstand bepaald tot waar overschrijding plaatsvindt van de bijbehorende grenswaarde (de zogenaamde overschrijdingsafstand). Voor endotoxinen is hierbij de door de Gezondheidsraad voorgestelde grenswaarde voor endotoxinen van 30 endotoxine eenheden per kubieke meter gehanteerd. Vervolgens zijn de overschrijdingsafstanden van de drie componenten met elkaar vergeleken om vast te stellen of de bestaande toetsingskaders voor fijn stof en geur ook voldoende zijn om de overschrijding van de voorgestelde grenswaarde voor endotoxinen te voorkomen.

Deze onderzoeksoopdracht is uitgevoerd binnen het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek van het Ministerie van Economische Zaken, met financiering van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Provincie Noord-Brabant en Provincie Gelderland. Het rapport is samengesteld door een team van medewerkers van Wageningen UR Livestock Research, Erbrink Stacks Consult en IRAS Universiteit Utrecht.

Onze dank gaat uit naar de zes veehouders die hun stallen openstelden voor het doen van metingen. Dankzij de meetgegevens die we bij hen konden verzamelen hebben we de stand van kennis rondom de emissie en verspreiding van stof en het endotoxine in het stof naar de omgeving belangrijk kunnen vergroten.

Bij de samenstelling van het rapport is het projectteam ondersteund door een klankbordgroep met vertegenwoordigers van bij deze problematiek betrokken maatschappelijke partijen. Dank aan de leden van de klankbordgroep voor hun inbreng en het projectteam voor de samenwerking.

Dr.ir. N.W.M. (Nico) Ogink  
Projectleider



# Verklaring van afkortingen en begrippen

| Begrip of afkorting                     | Verklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aerodynamische diameter                 | De aerodynamische diameter van een deeltje is gelijk aan de diameter van een bolvormig deeltje met een dichtheid van $1 \text{ g/cm}^3$ dat dezelfde terminale valsnelheid heeft als het deeltje in kwestie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Aspect ratio                            | Morfologische eigenschap van een (stof)deeltje, namelijk: de verhouding $a/b$ waarin $a$ de langste as door het deeltje is en $b$ de kortste as                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| $\beta_0$                               | Zie formule 5 in het rapport. Parameter in het statistisch model: het overall gemiddelde van de te verklaren variabele; een constante                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Bedrijf <sub>k</sub>                    | Zie formule 5 in het rapport. Parameter in het statistisch model: random effect van bedrijf $k$ (1, 2, ..., 6)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| CO <sub>2</sub>                         | Koolstofdioxide                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| [CO <sub>2</sub> ] <sub>binnen</sub>    | Gemeten concentratie van CO <sub>2</sub> in de stal, nabij het emissiepunt (ppm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| [CO <sub>2</sub> ] <sub>buiten</sub>    | Gemeten concentratie van CO <sub>2</sub> buiten de stal, nabij de luchtinlaat (ppm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| [CO <sub>2</sub> ] <sub>productie</sub> | Berekende productie van CO <sub>2</sub> ( $\text{m}^3/\text{uur}$ per dier)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| $\Phi_{\text{totaal}}$                  | Productie van totale warmte (Watt)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Deeltjesgrootteverdeling                | Een gegevenstabel of figuur die aangeeft hoe groot de relatieve bijdrage van elke deeltjesgrootte ( $\mu\text{m}$ ; doorgaans in deeltjesgrootteklassen) is ten opzichte van het totaal van de in de lucht aanwezige deeltjes. Verdelingen kunnen worden gegeven voor aantallen deeltjes of de massa van deeltjes. In dit rapport is het laatste aan de orde                                                                                                                                                                                         |
| Depositie                               | Het neerslaan van bijvoorbeeld (stof)deeltjes op de grond/aarde                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Dichtheid                               | Zie soortelijk gewicht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Diercategorie <sub><i>l</i></sub>       | Zie formule 5 in het rapport: fixed effect van diercategorie $l$ (legghennen, vleeskuikens of vleesvarkens)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| $\varepsilon_{ijk}$                     | Zie formule 5 in het rapport. Parameter in het statistisch model: residuele error term; weerspiegelt de variatie van metingen binnen een dag                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| E                                       | Eiproductie ( $\text{kg}/\text{hen}$ per dag)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Emissie                                 | In algemene zin: uitstoot van een component (bijv. stof, endotoxine). In kwantitatieve zin gebruikt om de uitstootsnelheid te karakteriseren, bijvoorbeeld in $\text{mg}/\text{uur}$ (gehele stal) of $\text{mg}/\text{uur}$ per aanwezig dier                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Emissiefactor                           | Uitstoot van een component zoals vastgelegd in regelgeving, uitgedrukt per tijdseenheid en eenheid van productie. Bijvoorbeeld: $\text{g}/\text{dierplaats}$ per jaar voor PM10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Endotoxine                              | Deeltjes uit het buitenmembraan van Gram-negatieve bacteriën die vrijkomen wanneer de bacterie sterft en desintegreert. Bij inhalatie van zwevend endotoxinen kunnen negatieve gezondheidseffecten optreden, zowel lokaal als systemisch in het lichaam, en zowel acuut als chronisch                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Endotoxineconcentratie                  | Concentratie van in de lucht zwevend endotoxine (als onderdeel van (fijn)stof), uitgedrukt in endotoxine units (EU)/ $\text{m}^3$ lucht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Endotoxinegehalte                       | Gehalte van endotoxine in het stof, uitgedrukt in endotoxine units (EU)/ $\text{mg}$ stof                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| [ET] <sub>binnen</sub>                  | Concentratie van endotoxinen in de stal, nabij het emissiepunt ( $\text{EU}/\text{m}^3$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| [ET] <sub>buiten</sub>                  | Concentratie van endotoxinen buiten de stal, nabij de luchtinlaat ( $\text{EU}/\text{m}^3$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| EU                                      | Afkorting voor Endotoxine Unit (endotoxine eenheid). Betekenis: een Endotoxine Unit (EU) is een maat voor de activiteit van het endotoxine. Endotoxinen verschillen in hun biologische activiteit of potentie; de reactiviteit van een endotoxine is niet te relateren aan de massa van het endotoxine. Gewichtshoeveelheden van endotoxine zijn daarom geen goede maat voor de endotoxine activiteit. Uitdrukking van endotoxineconcentraties in EU vermijdt de problemen van de verschillende potenties van verschillende endotoxinen.             |
| Geometrisch gemiddelde                  | Een maat die het centrum van een gegevensverzameling weergeeft, door alle waarnemingen ( $n$ ) met elkaar te vermenigvuldigen en vervolgens de $n$ -wortel te trekken uit het product. De uitkomst is vergelijkbaar met de mediaan (d.w.z. het middelste getal wanneer alle gegevens van klein naar groot gerangschikt worden). Het geometrische gemiddelde is minder gevoelig voor sterke uitschieters naar onder of boven. Bij niet-normaal verdeelde gegevens (bijv. bij emissiecijfers uit stallen), geeft deze maat een accurater beeld van het |

|                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              | centrum van een gegevensverzameling (bijv. de 'gemiddelde' emissie) dan het normale (rekenkundige) gemiddelde.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Immissie                                     | Concentratie van een component (bijv. stof, endotoxine) op een bepaalde afstand buiten stallen waar mensen leven                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Inhaleerbaar stof                            | Massafractie van de in de lucht zwevende deeltjes die het ademhalingsorgaan kan penetreren: in de praktijk stofdeeltjes kleiner dan 100 µm aerodynamische diameter (ISO 7708 en EN 481)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| L                                            | Liter; 1000 cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Leghen                                       | Vrouwelijke kip van een specifiek legras dat vanaf 17 weken leeftijd eieren legt voor eiconsumptie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Ln(Y <sub>ijk</sub> )                        | Zie formule 5 in het rapport: de natuurlijke logaritme van responsvariabele Y van meting i op Meetdag j bij Bedrijf k                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Lognormale verdeling                         | Een verzameling gegevens is lognormaal verdeeld wanneer de natuurlijke logaritmen van de gegevens normaal verdeeld zijn                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| m                                            | Massa; lichaamsgewicht van een leghen, vleeskuiken of vleesvarken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| m <sup>0,75</sup>                            | Metabool gewicht van een leghen, vleeskuiken of vleesvarken: eenheid om de voeropname en warmteproductie van dieren te schalen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| m <sup>3</sup>                               | Kubieke meter; een volume van 1 meter breed, 1 meter lang en 1 meter hoog                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| ME                                           | Metaboliseerbare energie-opname van vleesvarkens (kW)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Meetdag <sub>j</sub> (Bedrijf <sub>k</sub> ) | Zie formule 5 in het rapport: random effect van meetdag j (1, 2, ..., 4) genest binnen bedrijf k                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| mg                                           | Milligram; één duizendste gram. Gelijk aan 1000 microgram (µg)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Middelingstijd                               | Het tijdsbestek waarover een gemeten waarde wordt gemiddeld. Relevantie: wanneer korte maar hoge pieken voorkomen in de emissie van stof of endotoxinen zullen deze duidelijk zichtbaar zijn in metingen met een korte middelingstijd. In metingen met een lange middelingstijd echter, zal de korte piek worden 'uitgemiddeld': de piek geeft dan nog maar een kleine verhoging van het gemiddelde. Omdat de acute gezondheidseffecten van endotoxinen reeds na enkele uren kunnen optreden zijn in dit rapport 4-uursgemiddelden gebruikt voor bijvoorbeeld concentraties van stof en endotoxine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| n <sub>dieren</sub>                          | Aantal aanwezige dieren in een stal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| n <sub>dierplaatsen</sub>                    | Aantal dierplaatsen in een stal volgens geldende regelgeving; het aantal dieren dat in een stal wordt geplaatst aan het begin van een groeironde, legronde of lactatie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| NNM                                          | Nieuw Nationaal Model: Het door het ministerie van I&M voorgeschreven rekenmodel (zogenaamde standaard rekenmethode 3: SRM3) voor de verspreiding van luchtverontreiniging uit stationaire bronnen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Normale verdeling                            | Een verzameling gegevens is normaal verdeeld wanneer, uitgezet in een frequentiepolygoon, een klokvormige curve ontstaat die beschreven kan worden als symmetrisch rond gemiddelde µ en met een standaardafwijking σ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Optical Latex-equivalent Diameter            | De optical latex-equivalent diameter van een deeltje is gelijk aan de diameter van een polystyreen latex bolletje dat dezelfde mate van lichtverstrooiing geeft als het deeltje in kwestie in een optisch meetinstrument voor stof (zoals de in dit onderzoek gebruikte GRIMM PAS model 1.109)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Overschrijdingsafstand                       | Die afstand vanaf de stal tot waar de grenswaarde voor een bepaalde verontreiniging (endotoxine, geur of PM10) overschreden wordt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Percentiel                                   | In de statistiek is het x-percentiel van een gegevensverzameling die waarde in de gegevensverzameling waarbij precies x procent van de gegevens kleiner dan of gelijk is aan die waarde. Voorbeeld: het 50%-percentiel in een gegevensverzameling is precies die waarde waarvoor geldt dat 50% van de gegevens kleiner dan of gelijk is aan die waarde en 50% groter dan die waarde. Het 50%-percentiel wordt ook wel mediaan (het 'middelste getal') genoemd. Het 25%-percentiel wordt ook wel 'kwartiel' genoemd.<br>In de context van dit rapport betekent een (bijvoorbeeld) 99%-percentiel voor de endotoxineblootstelling die concentratie (hier: uitgedrukt per 4-uursperiode) waarvoor geldt dat die in 99% van de tijd niet wordt overschreden. Dit betekent dat die concentratie in 1% van de tijd wél wordt overschreden. Omdat de berekende percentiel samenhangt met de afstand tot de stal, betekent hoe hoger de gekozen percentielwaarde, hoe groter de als 'onveilig' berekende afstand vanaf de stal zal zijn, omdat met de grotere percentielwaarde een kleinere kans op blootstelling wordt geaccepteerd |
| Pluimdaling                                  | De gemiddelde daling van de pluim (in m) ten opzichte van een pluim die geen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

---

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PM                           | neerwaartse daling vertoont (zoals bij gassen)<br>Afkorting voor Particulate Matter. Synoniemen: aerosol, stofdeeltjes. Betekenis: 'Mengsel van fijne vaste of vloeibare deeltjes van organische en anorganische oorsprong, zwevend in een gasvormig medium' (WHO, 2014)                      |
| PM100 of PM <sub>100</sub>   | Zie inhaalbaar stof                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| PM10 of PM <sub>10</sub>     | Deeltjes met een aerodynamische diameter van 10 µm en kleiner (EN 12341)                                                                                                                                                                                                                      |
| PM2,5 of PM <sub>2,5</sub>   | Deeltjes met een aerodynamische diameter van 2,5 µm en kleiner (EN 14907)                                                                                                                                                                                                                     |
| [PM] <sub>binnen</sub>       | Concentratie van stof in de stal, nabij het emissiepunt (µg/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                  |
| [PM] <sub>buiten</sub>       | Concentratie van stof buiten de stal, nabij de luchtinlaat (µg/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                               |
| ppm                          | Afkorting voor 'parts per million'. Betekenis: 1 ppm is gelijk aan 0,01%. In dit rapport heeft dit betrekking op volumetrische verhoudingen.                                                                                                                                                  |
| Rekenkundig gemiddelde       | Ook wel: het gewone 'gemiddelde'. Een maat die het centrum van een gegevensverzameling weergeeft, door alle waarnemingen op te tellen en deze som te delen door het aantal waarnemingen. Bij (ongeveer) normaal verdeelde gegevens zijn rekenkundig en geometrisch gemiddelde ongeveer gelijk |
| Standaardafwijking/-deviatie | Symbol: σ. Afkorting: SD. Betekenis: een statistisch kengetal dat de mate van spreiding in een gegevensverzameling weergeeft                                                                                                                                                                  |
| Soortelijk gewicht           | Massa per eenheid van volume (bijv. g/cm <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                       |
| Terreinruwheid               | Een lengtemaat voor de gemiddelde obstakelhoogte in het terrein (m).<br>Parameter die wordt gebruikt in verspreidingsmodellering van een stalbron                                                                                                                                             |
| µg                           | microgram, gelijk aan één duizendste milligram of één miljoenste gram                                                                                                                                                                                                                         |
| V                            | Ventilatie-debiet                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| V <sub>dier</sub>            | Ventilatie-debiet in m <sup>3</sup> /uur per aanwezig dier                                                                                                                                                                                                                                    |
| V <sub>stal</sub>            | Ventilatie-debiet in m <sup>3</sup> per uur, geventileerd door het stalgebouw                                                                                                                                                                                                                 |
| Variatiecoëfficiënt          | Een relatieve spreidingsmaat, namelijk: de standaardafwijking (ook wel: standaarddeviatie) uitgedrukt als percentage van het gemiddelde                                                                                                                                                       |
| Vleeskuiken                  | Zowel mannelijke als vrouwelijke kippen van een specifiek vleesras dat in ca. 6 tot 7 weken een gewicht bereikt van ca. 2,5 kg om daarna geslacht te worden voor vleesconsumptie                                                                                                              |
| Vleesvarken                  | Zowel mannelijke als vrouwelijke varkens die in ca. 6 maanden tijd groeien van ca. 25 kg naar ca. 115 kg om daarna geslacht te worden voor vleesconsumptie                                                                                                                                    |
| VO                           | Voeropname van vleesvarkens (kg/dier per dag)                                                                                                                                                                                                                                                 |
| W, kW                        | Watt, kiloWatt                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Z                            | Hoogte (in m)                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Z <sub>pluimdaling</sub>     | Gemiddelde daling van een pluim ten opzichte van een pluim die geen pluimdaling vertoont (in m)                                                                                                                                                                                               |

---



---

# Samenvatting

## Aanleiding onderzoek naar uitstoot van endotoxinen uit stallen

In Nederland bestaat in een aantal regio's ongerustheid over de aanwezigheid van stallen in relatie tot de gezondheid van omwonenden. Stallen verspreiden door ventilatie stofdeeltjes in de omgeving. Deze deeltjes worden ook wel bioaerosolen genoemd om aan te geven dat het kleine, zwevende deeltjes zijn (ook wel 'fijnstof' genoemd). Zij bevatten micro-organismen en resten daarvan (zogenaamde 'endotoxinen'). Bioaerosolen kunnen schadelijk zijn voor de gezondheid. Er is nog weinig bekend over de omvang van de uitstoot van schadelijke deeltjes en de risico's van deze deeltjes voor omwonenden van stallen. Daardoor is het met de huidige kennis moeilijk in te schatten of deze uitstoot met nieuwe regels zou moeten worden beperkt tot een veilig niveau. De Gezondheidsraad heeft hierover in 2012 een advies uitgebracht aan de overheid. De raad zegt dat de studies naar relaties tussen blootstelling en gezondheidseffecten bij omwonenden van veehouderijen schaars zijn. Het is daarom niet mogelijk algemene regels voor het beoordelen van gezondheidsrisico's rond stallen op te stellen. Wel is bekend dat de endotoxinen in de deeltjes bij een te hoge concentratie schadelijk zijn. De raad adviseert de hoeveelheid endotoxinen in de buitenlucht te beperken tot 30 endotoxine-eenheden per kubieke meter buitenlucht (30 EU/m<sup>3</sup>).

Als reactie heeft de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu aangegeven de advieswaarde voor endotoxinen te willen gaan gebruiken bij vergunningverlening aan veehouderijen. Met deze grenswaarde kan dan de gezondheid van omwonenden van veehouderijen tegen te veel endotoxinen worden beschermd. Om dit te kunnen doen moet er een toetsingskader worden gemaakt (soms ook 'beoordelingskader' genoemd). Binnen dit toetsingskader wordt eerst de verwachte blootstelling in de omgeving in kaart gebracht. Vervolgens kan getoetst worden of de grenswaarde in de omgeving overschreden zal worden en of er bedrijfsmaatregelen nodig zijn om dit te vermijden. In de huidige vergunningverlening bij veehouderijbedrijven vindt al toetsing plaats op de uitstoot van fijn stof en geur. Dit gebeurt door de verwachte uitstoot en verspreiding in de omgeving te berekenen met een verspreidingsmodel. Het verspreidingsmodel rekent onder andere met emissiefactoren, d.w.z. hoeveel verontreiniging (bijvoorbeeld gram fijn stof) er per tijdseenheid en dierplaats uit de stal wordt uitgestoten. Het verspreidingsmodel berekent hoeveel afstand er tussen stal en woning nodig is om een aanvaardbare luchtkwaliteit voor omwonenden te behouden. De beoordeling van de endotoxine-uitstoot kan op een soortgelijke manier plaatsvinden. Een belangrijke vraag hierbij is of de grenswaarde voor endotoxinen een grotere afstand tussen stal en woningen vereist dan nu voor fijn stof en geur nodig is. In het geval dat niet zo is zijn de regels voor fijn stof en geur al voldoende beschermend tegen endotoxinen. Wageningen UR Livestock Research (WLR) en het IRAS instituut van de Universiteit Utrecht (IRAS) hebben in 2014 de bestaande kennis over endotoxine-uitstoot in een literatuurstudie samengevat. Zij schatten in dat de regels voor fijn stof en geur mogelijk niet voldoende beschermen tegen te hoge endotoxineconcentraties, met name bij pluimveestallen, maar kunnen hierover geen harde uitspraak doen. De onderzoekers concluderen dat er nog niet genoeg kennis is voor een toetsingskader en bevelen aan onderzoek naar de uitstoot en de verspreiding te verrichten. Als vervolg hierop is deze onderzoeksopdracht uitgevoerd binnen het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek van het Ministerie van Economische Zaken, met financiering van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Provincie Noord-Brabant en Provincie Gelderland. Het onderzoek is uitgevoerd door een projectgroep van WLR, Erbrink Stacks Consult en IRAS. Dit rapport geeft de resultaten van dit vervolgonderzoek.

## Doel en afbakening

Doel van dit onderzoek was meer kennis te vergaren over de uitstoot (emissie) van endotoxinen uit stallen en de verwachte blootstelling voor omwonenden van stallen. Het uitgevoerde onderzoek is oriënterend van karakter. Het levert een eerste set van endotoxine emissiefactoren voor leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens, ontwikkelt een eerste verspreidingsmodel, en voert daarmee verspreidingsberekeningen uit naar de verwachte blootstelling voor omwonenden van stallen. Deze kennis maakt inzichtelijk of de door de Gezondheidsraad geadviseerde grenswaarde voor endotoxinen

---

een grotere afstand tussen stal en woningen vereist dan nu voor fijn stof en geur nodig is. Mogelijk bieden de huidige toetsingskaders voor fijn stof en geur reeds in voldoende mate bescherming tegen te hoge endotoxineconcentraties. Tevens geeft dit onderzoek inzicht in wat verder nodig is aan onderzoek om eventuele emissiefactoren voor endotoxinen vast te stellen. Het emissieonderzoek en de modelberekeningen geven waardevolle informatie voor de eventuele verdere uitwerking van een toetsingskader voor endotoxinen, het daarvoor nog benodigde onderzoek, en de te maken beleidskeuzes. Het daadwerkelijk vaststellen van emissiefactoren voor een te ontwikkelen toetsingskader, of de volledig uitwerken van het toetsingskader, valt echter buiten de doelstelling van dit onderzoek.

### Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen zijn in twee onderdelen verdeeld. De eerste groep onderzoeksvragen gaat over het verkrijgen van kennis over de omvang van de endotoxine-uitstoot uit stallen voor leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens:

- hoe hoog zijn de endotoxinegehalten in het uitgestoten stalstof, de endotoxineconcentraties in de geventileerde stallucht en de endotoxine-emissies?

De stofdeeltjes hebben diameters die variëren van zeer klein tot groot. Daarom is een volgende onderzoeksvraag:

- hoe zijn de endotoxinen verdeeld over de stofdeeltjes met verschillende groottes?

Voor beantwoording van deze vragen zijn metingen uitgevoerd in stallen. De resultaten zijn uitgewerkt in Deel A van dit rapport.

De tweede groep onderzoeksvragen gaat over het berekenen van de verspreiding van endotoxinen uit een aantal fictieve stallen. De stallen zijn representatief voor de huidige praktijk. In de berekeningen werd gebruik gemaakt van de meetresultaten uit deel A:

- tot welke afstand tussen de fictieve stallen en de omgeving overschrijdt de gemodelleerde endotoxineconcentratie in de buitenlucht de grenswaarde voor endotoxinen ( $30 \text{ EU/m}^3$ )?
- welke afstanden moeten er bij deze stallen aangehouden worden voor fijn stof en geur zoals berekend met de verspreidingsmodellen in de huidige procedures voor vergunningverlening?
- is voor de bescherming tegen endotoxinen een grotere afstand nodig dan voor fijn stof en geur?

Het verspreidingsgedrag van deeltjes in de buitenlucht hangt van veel factoren af, waarbij voor een deel van deze factoren aannames moesten worden gedaan in het verspreidingsmodel:

- welke aannames voor verspreidingsgedrag hebben het grootste effect op de verspreidingsberekeningen?

Het onderzoek voor beantwoording van deze vragen is uitgewerkt in Deel B.

### Deel A: metingen endotoxinen uit stallen

In dit onderzoek zijn vanaf het najaar van 2014 tot de zomer van 2015 metingen uitgevoerd in twee leghennenstallen, twee vleeskuikenstallen en twee vleesvarkenstallen. In elke stal zijn verspreid over de onderzoeksperiode op vier dagen stof- en endotoxinemetingen verricht. De endotoxinegehalten zijn in drie verschillende stoffracties gemeten die verschillen qua grootte (diameter) van de stofdeeltjes. Het gaat om stof met diameters tussen 0 en 2,5 micrometer (zeer fijn stof, aangeduid met PM<sub>2.5</sub>), 0 en 10 micrometer (fijn stof, PM<sub>10</sub>) en 0 en 100 micrometer (inhaleerbaar stof, PM<sub>100</sub>). Het algehele beeld voor stof is dat de hoogste concentraties voorkomen bij de leghennen en de laagste bij de vleesvarkens. De stofconcentraties in de ventilatielucht van de leghennen zijn gedurende de donkerperiodes substantieel lager dan tijdens de lichtperiodes. Deze resultaten komen overeen met die uit eerder stofonderzoek in deze diercategorieën. De endotoxinegehalten in het PM<sub>100</sub> stof liggen bij alle drie diercategorieën hoger dan in het hiervan onderdeel zijnde PM<sub>10</sub> stof. De hoogste endotoxinegehalten worden gevonden bij de vleesvarkens. De gehalten in de twee pluimveecategorieën zijn vergelijkbaar en liggen een factor 3 tot 4 lager dan bij vleesvarkens. De endotoxineconcentraties in de stallucht zijn het vermenigvuldigingsproduct van de stofconcentratie en het endotoxinegehalte in het stof. De endotoxineconcentraties zijn het hoogst bij de leghennen, gevolgd door vleesvarkens en daarna vleeskuikens. Verder blijkt dat, evenals stofconcentraties en stofemissies, de endotoxineconcentraties overdag hoger zijn dan 's nachts. De verdeling van de



---

stofmassa over de deeltjes met verschillende diameters is eveneens gemeten. Kennis van deze verdeling is belangrijk omdat de deeltjes met veel massa een ander verspreidingsgedrag hebben dan de lichtere deeltjes. Het blijkt dat het merendeel van de stofmassa zich in de deeltjes groter dan 10 micrometer bevindt. Bij leghennen is dit het meest extreem, hier bevatten de deeltjes groter dan 30 micrometer samen nog circa 40% van de totale stofmassa. De huidige meetgegevens geven ook een eerste globale indruk van variatieniveaus. De variaties zijn in het algemeen groter voor de endotoxineconcentratie dan voor de stofconcentratie. De gemeten endotoxinegehalten in het stof zijn gebruikt in de modelberekeningen.

### **Deel B: modelberekeningen verspreiding endotoxinen**

De verspreidingsmodellering is uitgevoerd met het STACKS-model. Varianten van dit model worden gebruikt in de vergunningverlening om de verspreiding van fijn stof (PM<sub>10</sub>) en geur te berekenen. Voor deze studie is het model aangepast om de verspreiding van alle stofdeeltjes (PM<sub>100</sub>) te beschrijven. Bij de berekeningen is gebruik gemaakt van informatie uit het meetonderzoek (deel A), al bestaande stofemissiefactoren en een aantal aannames over het verspreidingsgedrag van de deeltjes. Voor een aantal fictieve veehouderijbedrijven zijn berekeningen uitgevoerd. Per diercategorie (legghennen, vleeskuikens en vleesvarkens) zijn telkens twee bedrijfsgroottes doorgerekend: klein en groot. De bedrijven werden gedacht zich te bevinden in drie regio's, elk met een verschillende achtergrondconcentratie van fijn stof: laag, midden en hoog. Het totale aantal fictieve bedrijven waarvoor de berekeningen werden gedaan bedroeg daarmee 18 (namelijk: 3 diercategorieën × 2 bedrijfsgroottes × 3 regio's). Voor elk van deze 18 fictieve bedrijven is de verspreiding van fijn stof, geur en endotoxinen (4-uursgemiddelden) berekend. Bij leghennen en vleeskuikens is zowel gerekend met een constante uitstoot van endotoxinen als met voor deze bedrijven typische vormen van tijdsvariatie in de uitstoot. Voor fijn stof en geur zijn de afstanden berekend vanaf het bedrijf tot waar de toegestane grenswaarde uit de regelgeving wordt overschreden (hier verder 'overschrijdingsafstand' genoemd). Bij fijn stof is daarbij het aanwezige achtergrondniveau in de omgeving belangrijk. Hoe hoger dit achtergrondniveau, des te sneller wordt de grenswaarde voor fijn stof in de omgeving bereikt. Als gevolg hiervan neemt overschrijdingsafstand toe met het toenemen van de achtergrondconcentratie van fijn stof. De achtergrondconcentraties kunnen sterk verschillen tussen regio's. Daarom zijn de drie genoemde regio's (laag, midden, hoog) opgenomen in de aanpak. De berekeningen voor endotoxinen zijn uitgevoerd voor vier zogenoemde 'percentielwaarden'. De percentielwaarde geeft aan hoeveel overschrijdingen van de grenswaarde getolereerd wordt op een punt in de omgeving. Een percentielwaarde van 98% betekent dat op een gegeven punt de grenswaarde nog gedurende 2% van de tijd door het jaar overschreden mag worden. Een strengere percentielwaarde van 99% staat nog maar 1% overschrijdingstijd per jaar toe. De overschrijdingsafstand neemt toe met een toenemende percentielwaarde. De berekeningen zijn gedaan voor de percentielwaarden 98, 99, 99.5 en 99.9%. De keuze voor een percentielwaarde in de te ontwikkelen regelgeving ligt nog open.

De resultaten van de berekeningen laten het volgende beeld zien:

- In de regio's met een lage en midden achtergrondconcentratie van fijn stof zijn de overschrijdingsafstanden voor endotoxinen bij zowel vleeskuikens als leghennen groter dan die voor fijn stof en geur. Endotoxine is hier dus het meest beperkend, met name voor de kleine bedrijfsgrootte en, afhankelijk van het te kiezen percentiel, wat meer wisselend voor de grote bedrijfsomvang. De overschrijdingsafstanden nemen toe naarmate strengere percentielwaarden met minder overschrijdingstijd worden gehanteerd.
- In de regio met de hoge achtergrondconcentratie van fijn stof is de overschrijdingsafstand voor fijn stof voor alle diercategorieën het grootst, en daarmee eerst-beperkend.
- In de diercategorie vleesvarkens is endotoxine bij de huidige aannames niet de eerst-beperkende component.
- De effecten van systematische variatie in de staluitstoot op overschrijdingsafstanden voor endotoxine is groter bij vleeskuikens dan bij leghennen. Dit wordt veroorzaakt doordat bij de leghennen de hogere stofuitstoot gedurende de dag-periode gekoppeld is aan gemiddeld betere verspreidingscondities overdag. Bij vleeskuikens neemt de stofuitstoot toe naarmate de dieren ouder en groter worden en is er geen koppeling met buitenklimaat. Daarom is er ook geen compensatie door betere verspreidingscondities.

---

De resultaten duiden erop dat een toetsingskader voor endotoxinen een aanvullende beschermende rol kan vervullen bij vleeskuikens en leghennen, maar niet in het geval van een individueel vleesvarkensbedrijf. Bij de eerstgenoemde twee diercategorieën lift de bescherming tegen endotoxinen niet automatisch mee op de toetsingskaders voor fijn stof en geur. De berekeningen hebben wel beperkingen. Een belangrijk punt is dat de fictieve bedrijven doorgerekend zijn als een enkel, geïsoleerd bedrijf. Stapeling van bijdragen van eventueel nabijgelegen bedrijven die endotoxinen in hetzelfde gebied uitstoten zijn niet meeberekend. In situaties met veel dichtbij elkaar gelegen bedrijven kan het hier geschetste beeld daarom anders (d.w.z. meer belastend) liggen.

### **Gevoeligheid van modelresultaten voor aannames**

De gevoeligheid van de modelresultaten voor aannames in de uitgevoerde berekeningen zijn onderzocht. Het blijkt dat met name de zogenaamde depositiesnelheid een groot effect heeft op de overschrijdingsafstanden voor endotoxinen. De depositiesnelheid is de snelheid waarmee stofdeeltjes uit de lucht verdwijnen door uitzakken naar de bodem als gevolg van hun massa, vorm, enzovoort. Het hanteren van juiste depositiesnelheden voor deeltjes is dus erg belangrijk. Daarvoor is kennis nodig van de verdeling van deeltjes over verschillende grootteklassen, maar ook informatie over hun soortelijke massa en vorm (afwijkingen van een bolvorm).

### **Conclusies**

Uit de resultaten trekken wij de volgende conclusies.

- Het endotoxinegehalte in het stof varieert tussen de diercategorieën en neemt aanzienlijk toe met de deeltjesgrootte. Dit betekent dat voor verspreidingsberekeningen in een toetsingskader niet volstaan kan worden met een constant endotoxinegehalte in alle stofdeeltjes maar dat onderscheid nodig is naar diercategorie en deeltjesgrootteklasse.
- De huidige toetsingskaders voor fijn stof en geur zijn bij pluimveebedrijven (vleeskuikens en leghennen) niet voldoende beschermend tegen het overschrijden van de gestelde endotoxinegrenswaarde (30 EU/m<sup>3</sup>). Uitwerking van een toetsingskader voor endotoxinen is noodzakelijk om het gewenste beschermingsniveau te bieden.
- De berekeningen voor vleesvarkensbedrijven geven aan dat het toetsingskader voor geur hier voldoende beschermend werkt. Dit kan anders uitpakken in gebieden met meerdere bronnen.
- Er zijn geen situaties doorgerekend met meerdere bronnen in een relatief klein gebied waar stapeling (zogenaamde 'cumulatie') op kan treden. Dit is van belang omdat in een aantal gebieden in Nederland een aanzienlijk deel van de bevolking in huizen woont met meerdere stallen binnen een afstand van 250 meter. In dergelijke situaties kunnen mogelijk ook andere diercategorieën dan pluimvee een overschrijding van de endotoxinegrenswaarde van 30 EU/m<sup>3</sup> veroorzaken.

### **Aanbevelingen**

Uit de analyse van meetresultaten (Deel A) en uit de gevoeligheidsanalyse van het verspreidingsmodel (Deel B) blijkt dat de deels ontbrekende en gebrekkige invoergegevens tot onzekerheid leidt in de uitkomsten. Deze onzekerheden kunnen de hierboven gepresenteerde uitkomsten van de modelberekeningen aanzienlijk beïnvloeden. Bij het uitvoeren van de berekeningen zijn in het algemeen behoudende aannames gedaan met een dempend effect op de berekende endotoxineconcentraties in de buitenlucht; het gaat hier dus niet om 'worst case' berekeningen. Dit vraagt om verdere onderbouwing door metingen. De volgende aspecten zijn hier van belang:

- De verdeling van de stofconcentraties en endotoxinegehalten in de verschillende deeltjesgrootteklassen is sterk benaderend ingeschat. De bulk van het in de PM10 aanwezige endotoxine zit in de grotere deeltjes (>PM10). Om de berekeningen nauwkeuriger te maken is er meer kennis nodig over het endotoxinegehalte in de deeltjesgrootteklassen tussen 10 en 100 micrometer. Dit vereist dat er geschikte bemonsteringsapparatuur voor deze grote fracties wordt ontwikkeld.
- De aerodynamische eigenschappen van de grote deeltjes, die samen de depositiesnelheid bepalen, zijn onbekend. Voorlopig zijn ze als bolvormig met een gegeven soortelijke massa beschouwd. De uitgevoerde gevoeligheidsanalyse laat zien dat de resultaten van het

---

verspreidingsmodel zeer gevoelig zijn voor deze aannames. Aanvullend onderzoek naar deze eigenschappen is gewenst.

- In de berekeningen zijn systematische verschillen in stofuitstoot en endotoxinegehalten in het stof tussen bedrijven van dezelfde dier- en stalcategorie niet meegenomen. De huidige informatie over deze vorm van 'tussenbedrijfsvariatie' is nog ontoereikend om deze goed in te schatten. Deze inschatting is nodig om een veiligheidsmarge in te bouwen voor bedrijven die veel meer dan het gemiddelde uitstoten.
- Voor het goed onderbouwen van de endotoxine-emissies waarmee het verspreidingsmodel rekent, zijn aanvullende metingen nodig; zowel voor de in deze studie betrokken diercategorieën (leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens) als voor andere belangrijke diercategorieën, zoals bijvoorbeeld zeugen en melkkoeien.
- Cumulatieve belasting door clusters van bedrijven kan op veel plaatsen van belang zijn. Het effect van stapeling op binnen deze clusters gelegen woonlocaties vraagt nader onderzoek.
- Door de keuze van strengere percentielwaarden kan meer bescherming worden geboden tegen het overschrijden van de voorgestelde norm van 30 EU/m<sup>3</sup> omdat daarmee de geaccepteerde overschrijdingstijd door het jaar afneemt. Een strengere percentielwaarde betekent een ruimere zonering rond stallen. Voor de keuze van de te hanteren percentielwaarde is meer kennis van de gezondheidssimpeact van endotoxineconcentraties in gebieden met hoge staldichtheid gewenst.

---

# Summary

## Motivation for research into the emission of endotoxins from farms

In a number of regions in the Netherlands, concerns exist about the presence of livestock houses in relation to the health of residents. Livestock houses spread dust particles into their surroundings by means of their ventilation. These particles are also called 'bioaerosols' to indicate that they are very small and floating airborne particles (also called 'fine dust') that contain micro-organisms and debris van dead bacteria ('endotoxins'). These bioaerosols can be harmful for neighbouring residents. Little is known about the magnitude of the emission of these potentially harmful particles and the true risk for residents. Therefore, it is hard to assess whether emissions should be mitigated to a safe level by means of regulations. The Dutch Health Council has issued an advice on this matter to the Dutch government. The council points out that studies into the relationships between exposure and effects in neighbouring residents of livestock farms are scarce. This makes it difficult to set general regulations for assessing health risks near these farms. It is known however, that the endotoxins in the particles adversely affect health when concentrations are too high. The council advises to limit the amount of endotoxin in the ambient air to 30 endotoxin units per cubic metre of air (30 EU/m<sup>3</sup>).

In reaction to the advice, the State Secretary of Infrastructure and the Environment has indicated to use this limit value in environmental permit granting to livestock farms. This limit value can serve to protect the health of residents of livestock farms, but, for this, an assessment framework needs to be developed. In this assessment framework, the expected exposure of residents to endotoxin needs to be estimated, which allows comparison of the estimated exposure to the limit value. Such assessment is already part of the present permit granting procedures for fine dust and odour in which the expected emission and dispersion of the pollutant into the environment is calculated by a dispersion model. The dispersion model uses emission factors (i.e., the amount of a pollutant emitted per unit of time and animal place). Outcome of this is, amongst others, which distance between the farm and a residential location should be kept to ensure an acceptable air quality at that location. An assessment for endotoxins could be done using a similar procedure. An important question is whether the proposed limit value for endotoxin demands a greater distance than required from the assessments on fine dust and odour. If that is not the case, the assessment frameworks for fine dust and odour are already sufficiently protective for exceedances of endotoxin. Wageningen UR Livestock Research (WLR) and the IRAS institute of Utrecht University (IRAS) have recently summarised the existing knowledge on endotoxin emission in a literature report. Their study indicates that current assessment frameworks for fine dust and odour are insufficiently protective against exceedances of the endotoxin limit, especially in the vicinity of poultry farms, but also points at the need for more research information to be conclusive. Following the recommendations from the literature report of WLR and IRAS, the present study was commissioned as part of the policy support research program of the Ministry of Economic Affairs, with cofinancing by the Ministry of Infrastructure and the Environment, the Province of Gelderland, and the Province of Noord-Brabant. The study was performed by a project group from WLR, Erbrink Stacks Consult and IRAS. This report presents the results of this follow-up study.

Doel van dit onderzoek was meer kennis te vergaren over de uitstoot (emissie) van endotoxinen uit stallen en de verwachte blootstelling voor omwonenden van stallen. Het uitgevoerde onderzoek is oriënterend van karakter. Het levert een eerste set van endotoxine emissiefactoren voor leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens, ontwikkelt een eerste verspreidingsmodel, en voert daarmee verspreidingsberekeningen uit naar de verwachte blootstelling voor omwonenden van stallen. Deze kennis maakt inzichtelijk of de door de Gezondheidsraad geadviseerde grenswaarde voor endotoxinen een grotere afstand tussen stal en woningen vereist dan nu voor fijn stof en geur nodig is. Mogelijk bieden de huidige toetsingskaders voor fijn stof en geur reeds in voldoende mate bescherming tegen te hoge endotoxineconcentraties. Tevens geeft dit onderzoek inzicht in wat verder nodig is aan onderzoek om eventuele emissiefactoren voor endotoxinen vast te stellen. Het emissieonderzoek en

---

de modelberekeningen geven waardevolle informatie voor de eventuele verdere uitwerking van een toetsingskader voor endotoxinen, het daarvoor nog benodigde onderzoek, en de te maken beleidskeuzes. Het daadwerkelijk vaststellen van emissiefactoren voor een te ontwikkelen toetsingskader, of de volledig uitwerken van het toetsingskader, valt echter buiten de doelstelling van dit onderzoek.

### **Objectives and focus**

The objective of this study was to gain more knowledge about the emissions of endotoxins from livestock farms and the expected exposure for residents of neighbouring houses. The study has an exploratory character. It provides a first set of endotoxin emission factors for laying hens, broilers, and fattening pigs, develops a first version of a dispersion model, and uses this model to calculate the expected exposure of residents that live near livestock farms. This knowledge elucidates whether the limit for endotoxins, as recommended by the Dutch Health Council, requires a greater distance between farms and homes than is required for fine dust and odour. Possibly, the existing assessment frameworks for fine dust and odour already sufficiently protect residents against endotoxin. It also gives insight into what is needed in terms of future research to produce possible emission factors for endotoxins. The emission measurements and dispersion modelling in this study provide valuable information for the possible further development of an assessment framework for endotoxin emissions, future research, and policy development. The actual development of such emission factors, or the full development of an endotoxin assessment framework, however, falls outside the scope of the present study.

### **Research questions**

The research questions are divided into two parts. The first group of research questions is about gaining knowledge about the extent of endotoxin emissions from houses for laying hens, broilers, and pigs:

- what are the endotoxin contents in the particles, the concentrations of endotoxin in the air exhausted, and the endotoxin emission rates?

The particles have diameters that range from very small to large. Therefore, the next research question is:

- how are the endotoxins distributed over the particles with different sizes?

To answer these questions, measurements were carried out inside livestock houses. The results of those are worked out in Part A of this report.

The second group of research questions is about the calculation of the dispersion of endotoxin from a number of fictitious livestock houses. These houses are representative for the present sector. In these calculations, the data from Part A of this report were used:

- up to which distance from the fictitious houses does the modelled endotoxin concentration in the ambient air exceed the limit for endotoxin (30 EU/m<sup>3</sup>)?
- which distances are needed for these houses for fine dust and odour (as calculated with the current dispersion models for permit granting)?
- is a greater distance needed to protect against endotoxin than needed for fine dust and odour?

The dispersion of particles in the ambient air depends on many factors. For a number of these factors, assumptions had to be made in the dispersion model:

- which assumptions are most sensitive to the outcome of the dispersion modelling?

The research carried out to answer these questions is worked out in Part B of this report. Finally, this study aimed to give recommendations for further research to develop the assessment framework for endotoxins.

### **Part A: measurements of endotoxins from livestock houses**

In this study, measurements were carried out from autumn 2014 to summer 2015 in two laying hen houses, two broiler houses, and two fattening pig houses. In each house, measurements of fine dust and endotoxin in this dust, 4 measuring days per house, were spread over the study period. The

---

endotoxin contents were determined in three different dust fractions which differ in size (diameter) of the particles. These fractions comprise diameters between 0 and 2.5 micrometre (very fine dust, or: PM<sub>2.5</sub>), 0 and 10 micrometre (fine dust, or: PM<sub>10</sub>) and 0 to 100 micrometre (inhalable dust, or: PM<sub>100</sub>). The general outcome of the dust measurements is that the highest concentrations are found in layers and the lowest in pigs. The dust concentration in the exhaust air of the laying hen houses are substantially lower during dark periods than the light periods. These results are consistent with those from earlier research on dust emission from these animal categories. The endotoxin contents in the PM<sub>100</sub> fraction are higher than in the PM<sub>10</sub> fraction, which is part of the PM<sub>100</sub> fraction, at all three animal categories. The highest endotoxin contents were found in the dust from fattening pigs. The endotoxin content in the poultry categories are comparable and a factor 3 to 4 lower than that of fattening pigs. The endotoxin concentrations in the air is the multiplication product of the dust concentration and the endotoxin content in the dust. The endotoxin concentrations were highest in layers, followed by pigs, and broilers. It also appears that, as is the case with dust concentrations and emissions, the endotoxin concentrations are higher during the day than at night. The distribution of the mass of dust across the different particle diameters was also measured. Knowledge of this distribution is important because the particles with a high mass have a different dispersion behaviour than the lighter particles. It appears that the majority of the dust mass is present in the particles with diameters larger than 10 micrometres. In layers, this is the most extreme: here, the particles larger than 30 micrometres together still account for approximately 40% of the total dust mass. The present data also give a first overall impression of variation levels. The variations are in general greater for the endotoxin concentration than for the dust concentration. The endotoxin contents determined in the dust have been used in the dispersion modelling.

### **Part B: dispersion modelling of endotoxins**

The dispersion modelling is performed with the STACKS-model. Variants of this model are used in environmental permit granting to calculate the dispersion of fine dust (PM<sub>10</sub>) and odour. For this study, the model was adapted such that it could calculate the dispersion of all particles (PM<sub>100</sub>). The calculations made use of information from Part A of this study, of existing fine dust emission factors, and of a number of assumptions about the dispersion behaviour of the particles. Calculations were carried out for a number of fictitious livestock farms. Per animal category (laying hens, broilers and fattening pigs) two farm sizes were used: small and large. The farms were thought to be located in three regions, each with a different background concentration of fine dust: low, medium and high. The total number of fictitious farm locations for which the calculations were done thus amounted 18 (i.e. 3 animal categories × 2 farm sizes × 3 regions). For each of these 18 fictitious farms, the dispersion of fine dust, odour, and endotoxins (4-hour average) was calculated. In laying hens and broilers, the calculations were done for both the situation of a constant emission rate and a variable emission rate as is typical for these two farm types. For fine dust and odour, the distances were calculated from the farm up to where the applicable limit from legislation is exceeded (further called 'exceedance distance'). For fine dust, the background concentration is important. The higher this background level, the quicker the limit value for fine dust is reached in the environment. As a result, the distance from the farm to the point where the limit value is exceeded, increases with the background concentration. Because fine dust background concentrations can differ substantially between regions, three regions (low, medium, high) were included in the approach. The calculations for endotoxins were performed for four so-called 'percentile values'. The percentile indicates to what extent exceedances are tolerated at a certain point in the vicinity of the farm. A percentile of 98% means that at a certain point the limit is allowed to be exceeded for 2% of the time in a year. A stricter percentile value of 99% only allows 1% of exceedance time per year. The distance measured from the company to where the limit is exceeded increases with increasing percentile values. The calculations were done for the percentiles: 98, 99, 99.5 and 99.9%. The choice of a percentile value to be included in regulations is still open.

The results of the model calculations are:

- In regions with a low or average background concentration of fine dust, the exceedance distances for endotoxins are greater than those for fine dust and odour in the case of laying hens and broilers. Endotoxin is therefore the most restrictive component, particularly for the small farm size and, depending on the percentile chosen, sometimes also for the large farm sizes. The exceedance distances increase as more stringent percentile values are used which allow less exceedance time.

- 
- In the region with the high background concentration of fine dust, the exceedance distance is greatest for fine dust for all animal categories, and thus first-limiting.
  - In fattening pigs, endotoxin is - at the present assumptions - not the first-limiting component.
  - The effects of systematic variation in farm emissions on exceedance distances for endotoxin is greater in broilers than in laying hens. This is caused by the fact that in laying hens, the higher emission of dust during the day-period is linked to favourable dispersion conditions during the day. In broilers, the dust emission increases with increasing age and size. Therefore, there is no compensation due to better dispersion conditions.

The results indicate that an assessment framework for endotoxin can play a complementary protective role in broiler and laying hen farms, but not in the case of an individual fattening pig farm. In the first two animal categories, the protection of residents against endotoxins is not automatically guaranteed by the assessment frameworks for fine dust and odour. The calculations do have limitations. An important point is that the fictitious farms were included as single, isolated farms. Accumulation of contributions from other nearby farms that emit endotoxins in the same area, are not included. In situations with many farms in a limited region the picture sketched above may therefore be different.

---

## Sensitivity of the model results for assumptions

The sensitivity of the model results to assumptions in the calculations were investigated. The investigations show that the so-called deposition rate has a large effect on the exceedance distances for endotoxins. The deposition rate is the rate at which dust particles settle out to the ground as a result of their mass, shape, and so on. The use of accurate deposition rates for particles is very important. This requires knowledge of the distribution of particles of different sizes, but also information on their density and shape (deviations from a spherical shape).

## Conclusions

From the results, the following conclusions are drawn.

- The endotoxin content in dust varies between animal categories and increases with the particle size. This means that for dispersion calculations within an assessment framework, it is not sufficient to use one constant endotoxin content for all dust particles, but that separate contents are needed for animal categories and particle size classes.
- The current assessment frameworks for fine dust and odour are not sufficiently protective against exceedances of the proposed limit for endotoxin (30 EU/m<sup>3</sup>) near poultry farms (broilers and layers). The development of an assessment framework for endotoxins is necessary to provide the desired level of protection against this component.
- The calculations for fattening pig farms show that the assessment framework for odour is sufficiently protective. This, however, can be different in areas with multiple sources where accumulation occurs.
- There are no scenarios included with multiple sources in a relatively small area that can result in accumulation of contributions. This is important because in a number of areas in the Netherlands, a significant part of the population lives in homes with several farms within a distance of 250 metres. In such situations, any animal category, could cause an exceedance of the endotoxin limit of 30 EU/m<sup>3</sup>.

## Recommendations

The analysis of the measurement data (Part A) and the sensitivity analysis of the dispersion model (Part B) show that the partly missing and deficient input data leads to uncertainty in the outcomes. These uncertainties could significantly affect the results of the model calculations as presented above. In carrying out the calculations, generally conservative assumptions were made, with a dampening effect on the calculated endotoxin concentrations in the ambient air; the calculations were therefore not 'worst case' calculations. This requires further substantiation by measurements. The following aspects are important in this sense:

- The distribution of the dust concentrations and endotoxin contents over the different particle size classes has been set in a highly approximate manner. The bulk of the endotoxin in the PM100 fraction is present in the larger fraction (>PM10). In order to make the calculations more accurate, more information is needed on the endotoxin content in the particle size classes between 10 and 100 micrometres. This requires that suitable sampling equipment is designed for these classes.
- The aerodynamic properties of the large particles, which together determine the deposition rate, are unknown. For now, they were considered to be spherical with a given density. The sensitivity analysis shows that the results of the dispersion model are highly sensitive to these assumptions. Additional research on these properties is desired.
- In the calculations, systematic differences in the emission of dust and of the endotoxin content in the dust between farms of the same animal and housing category were not included. The current information about this form of variation between business is not sufficient to determine this. This information is necessary to apply a safety margin for those farms that emit more than the average.
- To substantiate the endotoxin emissions which calculates the distribution model requires additional measurements; both for the animal categories concerned in this study (laying hens, broilers and pigs) as well as other important animal categories, such as sows or cows.
- Cumulative effects of clusters of livestock farms may be of relevance in many regions. Their impact on households within these clusters require further investigation.
- The choice for a more stringent percentile value can further enhance the level of protection against exceedance of the proposed limit value of 30 EU/m<sup>3</sup> because this lowers the accepted



---

exceedance time in a year. A stricter percentile value means a broader protection zone around farms. To choose a proper percentile value, more knowledge is needed on the health impact of endotoxin concentrations in areas with high densities of farms.

---

# 1 Inleiding

## *Aanleiding en probleembeschrijving*

Nederland heeft een aantal regio's met hoge veedichtheden in combinatie met een relatief hoge bevolkingsdichtheid, met name in het zuiden en het oosten van het land. In sommige regio's heeft dit geresulteerd in maatschappelijke ongerustheid over mogelijke gezondheidsrisico's van veehouderijbedrijven voor omwonenden. Deze ongerustheid bestaat met name over blootstelling aan stof, micro-organismen en endotoxinen (celwandfragmenten van Gram-negatieve bacteriën) die met de ventilatielucht van stallen worden uitgestoten. Belangrijke vragen zijn welke omgevingsbelasting optreedt bij omwonenden van stallen, welke gezondheidsrisico's daarmee gepaard gaan, hoe emissies en blootstellingen verlaagd kunnen worden en met welk toetsingskader de belasting van omwonenden door een stal kan worden getoetst aan een gezondheidkundige grenswaarde. Rondom dit thema zijn in Nederland verschillende studies en rapportages verschenen (Dusseldorp et al., 2008; Kornalijslijper et al., 2008; Heederik et al., 2011; Maassen et al., 2012; Fast & Nijdam, 2013).

In een advies aan de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport concludeert de Gezondheidsraad dat studies naar relaties tussen blootstelling en gezondheidseffecten bij omwonenden van veehouderijen schaars zijn en dat de huidige stand der kennis de ontwikkeling van één kwantitatief toetsingskader t.a.v. volksgezondheidsrisico's niet toelaat (Gezondheidsraad, 2012). Wel wordt als grond voor een specifiek toetsingskader voor endotoxinen een gezondheidkundige grenswaarde voor de algemene bevolking voorgesteld van 30 EU/m<sup>3</sup> (EU; 'endotoxine units'). Met het beschikbaar komen van een gezondheidkundige grenswaarde voor endotoxinen is een eerste basis ontstaan voor het ontwikkelen van een kwantitatief toetsingskader voor emissies van endotoxinen uit de veehouderij, zoals deze reeds bestaan voor ammoniak, fijn stof en geur.

Als reactie op het voornoemde advies van de Gezondheidsraad is op 14 juni 2013 een kabinetsbrief verschenen. Hierin wordt aangegeven dat de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu de gezondheidkundige advieswaarde nader zal uitwerken en vastleggen zodat deze ter bescherming van de gezondheid van omwonenden van veehouderijen kan worden toegepast bij het verlenen van de omgevingsvergunning milieu. Naast een gezondheidkundige grenswaarde dient een toetsingskader een instrumentarium te bevatten waarmee de blootstelling in de omgeving t.g.v. veehouderijactiviteiten in kaart wordt gebracht, zodat getoetst kan worden of de grenswaarde ter hoogte van een toetsingspunt overschreden wordt. Naar analogie van het toetsingskader voor fijn stof, ammoniak en geur kan dit instrumentarium bestaan uit een verspreidingsmodel waarin emissiefactoren zijn opgenomen. Het ontwikkelen van een dergelijk instrumentarium roept echter een groot aantal vragen op die beantwoording vergden alvorens tot ontwikkeling kan worden overgegaan.

Recent zijn deze vragen geïnventariseerd en is de stand van kennis rondom dit thema samengevat in een literatuurstudie uitgevoerd door medewerkers van Wageningen UR Livestock Research en het Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS) van de Universiteit Utrecht. Van deze literatuurstudie is een eerste rapport verschenen in de serie 'Emissies van endotoxinen uit de veehouderij' (Winkel et al., 2014). De conclusie van dat rapport was dat de kennis over emissies van endotoxinen voor de Nederlandse situatie ontoereikend is om direct een toetsingskader te ontwikkelen. Verder leken oriënterende berekeningen (met een aantal noodzakelijke aannames) erop te wijzen dat huidige toetsingskaders voor fijn stof en geur niet reeds in voldoende mate bescherming bieden tegen te hoge endotoxinebelastingen, met name bij omwonenden van pluimveestallen. In het rapport werd aanbevolen om brontechnische informatie te verzamelen (endotoxinegehalten in stalstof; verdeling van endotoxinen over deeltjesfractie stof; de variatie hierin, zowel tussen bedrijven, als binnen een bedrijf in de tijd) en bestaande verspreidingsmodellen door te ontwikkelen middels aanpassingen voor verspreidingsberekeningen voor endotoxine. Op basis hiervan kan op korte termijn inzicht verkregen worden in het effect van een toetsingskader voor endotoxinen in relatie tot reeds bestaande toetsingskaders van fijn stof en geur. Ook kan inzicht verkregen worden in te maken keuzes in de verspreidingsmodellering, zoals het wel of niet meenemen van grotere stofdeeltjes (>10 µm). In het

---

onderhavige rapport zijn de hiervoor genoemde aanbevelingen opgepakt en uitgewerkt. Deze onderzoeksoopdracht is uitgevoerd binnen het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek van het Ministerie van Economische Zaken, met financiering van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Provincie Noord-Brabant en Provincie Gelderland.

#### *Doel en afbakening*

Doel van dit onderzoek was meer kennis te vergaren over de uitstoot (emissie) van endotoxinen uit stallen en de verwachte blootstelling voor omwonenden van stallen. Het uitgevoerde onderzoek is oriënterend van karakter. Het levert een eerste set van endotoxine emissiefactoren voor leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens, ontwikkelt een eerste verspreidingsmodel, en voert daarmee verspreidingsberekeningen uit naar de verwachte blootstelling voor omwonenden van stallen. Deze kennis maakt inzichtelijk of de door de Gezondheidsraad geadviseerde grenswaarde voor endotoxinen een grotere afstand tussen stal en woningen vereist dan nu voor fijn stof en geur nodig is. Mogelijk bieden de huidige toetsingskaders voor fijn stof en geur reeds in voldoende mate bescherming tegen te hoge endotoxineconcentraties. Tevens geeft dit onderzoek inzicht in wat verder nodig is aan onderzoek om eventuele emissiefactoren voor endotoxinen vast te stellen. Het emissieonderzoek en de modelberekeningen geven waardevolle informatie voor de eventuele verdere uitwerking van een toetsingskader voor endotoxinen, het daarvoor nog benodigde onderzoek, en de te maken beleidskeuzes. Het daadwerkelijk vaststellen van emissiefactoren voor een te ontwikkelen toetsingskader, of de volledig uitwerken van het toetsingskader, valt echter buiten de doelstelling van dit onderzoek.

#### *Onderzoeksvragen*

In dit onderzoek is antwoord gezocht op de volgende onderzoeksvragen m.b.t. de emissie van endotoxinen uit stallen:

- Wat zijn endotoxinegehalten in het stof, endotoxineconcentraties in de lucht en endotoxine-emissies in representatieve stallen voor leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens?
- Verschillen endotoxinegehalten in het stof tussen diercategorieën, tussen dag- en nachtperiodes, en tussen de drie deeltjesgroottefracties PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>2,5-10</sub> en PM<sub>10-100</sub>?
- Wat is de deeltjesgrootteverdeling op basis van massa in de genoemde diercategorieën?
- Welke tussenbedrijfsvariëaties en binnenbedrijfsvariëaties (uitgedrukt als variantie of variatiecoëfficiënt) bestaan er voor stofconcentraties, endotoxinegehalten in het stof en endotoxineconcentraties in de lucht?

In dit onderzoek is antwoord gezocht op de volgende onderzoeksvragen m.b.t. de verspreiding van endotoxinen in de omgeving:

- Wat zijn de afstanden vanaf de emissiepunten van de stal tot waar de gemodelleerde concentratie van endotoxinen in de buitenlucht de door de Gezondheidsraad gestelde endotoxineconcentratie voor de algemene populatie (30 EU/m<sup>3</sup>) overschrijdt, voor een aantal relevante scenario's van fictieve stallen voor leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens?
- Wat zijn de overschrijdingsafstanden voor geur (zoals berekend met VStacks) en PM<sub>10</sub> (zoals berekend met ISL3a) in deze scenario's?
- Is de endotoxinenorm van de Gezondheidsraad (met een nog te definiëren percentielwaarde) de kritieke norm of geven de toetsingskaders voor geur en PM<sub>10</sub> reeds voldoende bescherming tegen te hoge endotoxineconcentraties bij omwonenden?
- In welke mate zijn de uitkomsten van het in dit onderzoek verder ontwikkelde verspreidingsmodel gevoelig voor de invloed van: (a) het depositiegedrag van deeltjes, (b) pluimdaling, (c) de variantie van 4-uursgemiddelde waarden voor van de endotoxineconcentratie in lucht, en (d) de terreinruwheid?

Tot slot, op basis van de antwoorden verkregen uit zowel het emissie- als het verspreidingsonderzoek:

- Welke vervolgonderzoek is gewenst, gelet op de antwoorden verkregen op bovenstaande onderzoeksvragen?

---

### *Werkwijze en rapportindeling*

In dit onderzoek zijn in hoofdzaak twee activiteiten uitgevoerd: emissiemetingen en verspreidingsmodellerings. Ze zijn afzonderlijk opgenomen in deel A en deel B van dit rapport.

In deel A zijn de werkwijze (hoofdstuk 2) en de resultaten (hoofdstuk 3) opgenomen van metingen van o.a. stofconcentraties, endotoxineconcentraties, stofemissies en endotoxine-emissies bij twee stallen voor leghennen, twee stallen voor vleeskuikens en twee stallen voor vleesvarkens.

In deel B zijn de endotoxine resultaten uit deel A samen met aannames uit de literatuur gebruikt voor het uitvoeren van verspreidingsberekeningen. De verspreiding van endotoxinen is voor een aantal fictieve stalscenario's in de genoemde drie diercategorieën berekend, evenals de afstand tussen de fictieve stallen en de omgeving tot waar de gemodelleerde endotoxineconcentratie in de buitenlucht de grenswaarde voor endotoxinen (30 EU/m<sup>3</sup>) overschrijdt. Deze afstanden zijn vergeleken met de minimale afstanden die voor fijn stof (PM10) en geur dienen voor deze fictieve bedrijven zouden moeten worden aangehouden, berekend met de verspreidingsmodellen die bij vergunningverlening worden toegepast. Hiermee kon worden vastgesteld of de bestaande regelgeving voor geur en PM10 reeds voldoende beschermend is in het geval van de fictieve stallen. Beschrijving van de hierbij gevolgde werkwijze en resultaten zijn opgenomen in respectievelijk hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5. Tot slot is in hoofdstuk 6 een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om te bepalen welke factoren in het verspreidingsmodel de uitkomsten in sterke mate beïnvloeden. Het rapport eindigt met een integrale discussie van de verkregen kennis uit deel A en deel B (hoofdstuk 7) en met de conclusies gebaseerd op de beantwoording van de gestelde onderzoeksvragen (hoofdstuk 8).

Er is voor gekozen om veel informatie die niet direct tot de kern van dit rapport behoort op te nemen in een groot aantal bijlagen bij dit rapport. Wij hopen daarmee dat de leesbaarheid van de kern, de hoofdstukken 2 t/m 6, is vergroot. Omdat bij het onderwerp van dit rapport het gebruik van (enige) technische termen onontkoombaar is voor een goed begrip van de materie, is voor in het rapport een verklarende lijst opgenomen met afkortingen, symbolen en technische termen.

---

## DEEL A: emissiemetingen

## 2 Werkwijze emissiemetingen

### 2.1 Stallocaties

In dit onderzoek zijn emissiemetingen uitgevoerd aan:

- twee stallen voor leghennen (beide met volièrehuisvesting)
- twee stallen voor vleeskuikens
- twee stallen voor vleesvarkens

In totaal waren zes stallocaties in dit onderzoek betrokken. De stallen waren qua inrichting, bedrijfsvoering en omvang representatief voor de betreffende sectoren. Gedetailleerde beschrijvingen en foto's van de bedrijven zijn opgenomen in Bijlagen A1 t/m A6.

### 2.2 Meetstrategie en gemeten variabelen

Aan de hierboven genoemde stallen zijn tijdens vier dagen metingen uitgevoerd. Het totale aantal meetdagen bedroeg (6 stallen × 4 meetdagen =) 24. De metingen zijn uitgevoerd tussen oktober 2014 en juli 2015. Bij groeiende dieren (vleeskuikens en vleesvarkens) zijn de metingen zoveel mogelijk in de tweede helft van de groeiperiode uitgevoerd, waar de te verwachten emissie het grootst is. Per meetdag werden er metingen verricht in drie meetperiodes: (1) metingen tijdens 24 uur, (2) metingen gedurende 4 uren tijdens de dag/lichtperiode, en (3) metingen gedurende 4 uren tijdens de nacht/donkerperiode. Verder werden metingen op twee meetposities verricht: (a) in de stal, nabij het emissiepunt van het stal gebouw (vlak voor een ventilator of ventilatorschacht), en (b) buiten de stal, nabij de inlaat voor frisse lucht van het stalgebouw. Tabel 1 toont een overzicht van de gemeten variabelen per meetpositie en meetperiode.

Tabel 1

Overzicht van gemeten variabelen met hun eenheid, per meetpositie en meetperiode.

| Meetpositie              | Meetperiode                                                            |                                                                          |                                                                          |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|                          | 24 uur                                                                 | 4 uren; overdag                                                          | 4 uren; 's nachts                                                        |
| Buiten de stal (inlaat)  | Concentratie PM100 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>a</sup>           | -                                                                        | -                                                                        |
|                          | Concentratie PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>a</sup>            |                                                                          |                                                                          |
|                          | Concentratie PM2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>a</sup>           |                                                                          |                                                                          |
|                          | Endotoxineconcentratie alle drie PM fracties( $\text{EU}/\text{m}^3$ ) |                                                                          |                                                                          |
|                          | Temperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>a</sup>                        |                                                                          |                                                                          |
|                          | Relatieve luchtvochtigheid (%) <sup>a</sup>                            |                                                                          |                                                                          |
|                          |                                                                        |                                                                          |                                                                          |
| In de stal (emissiepunt) | Minuutwaarden concentr. PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>b</sup> | Concentratie PM100 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>b</sup>             | Concentratie PM100 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>b</sup>             |
|                          | Deeltjesgrootteverdeling (#/L) <sup>c</sup>                            | Concentratie PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>b</sup>              | Concentratie PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>b</sup>              |
|                          | Concentratie CO <sub>2</sub> (ppm) <sup>b</sup>                        | Concentratie PM2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>b</sup>             | Concentratie PM2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>b</sup>             |
|                          | Minuutwaarden conc. CO <sub>2</sub> (ppm) <sup>a</sup>                 | Endotoxineconcentratie alle drie PM fracties) ( $\text{EU}/\text{m}^3$ ) | Endotoxineconcentratie alle drie PM fracties) ( $\text{EU}/\text{m}^3$ ) |
|                          | Temperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>a</sup>                        |                                                                          |                                                                          |
|                          | Relatieve luchtvochtigheid (%) <sup>a</sup>                            |                                                                          |                                                                          |
|                          | Data opslag klimaatcomputer <sup>d</sup>                               |                                                                          |                                                                          |
|                          |                                                                        |                                                                          |                                                                          |

Overig: variatie stofconcentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), endotoxineconcentratie ( $\text{EU}/\text{m}^3$ ) en endotoxinegehalte stof ( $\text{EU}/\text{mg}$ ) binnen een meetdag  
Tijdens 2 van de 4 meetdagen per bedrijf is de concentratie van PM100 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) in duplo bepaald gedurende drie meetperiodes van twee uur verspreid over de dag

<sup>a</sup> Gemeten in enkelvoud

<sup>b</sup> Gemeten in duplo

<sup>c</sup> Tijdens 1 of 2 meetdagen per bedrijf, deeltjesconcentraties in 31 grootteklassen tussen 0,25 en 32  $\mu\text{m}$

<sup>d</sup> Bij de vleesvarkenstallen en vleeskuikenstal 1

Naast bovenstaande variabelen zijn er tijdens elke meetdag zogenaamde 'veldblanco's' verzameld. Deze stoffilters ondergingen dezelfde behandeling als andere stoffilters met die uitzondering dat er

geen lucht doorheen werd gezogen. Veldblanco's worden meegenomen om op contaminatie van stoffilters tijdens het meetproces te controleren.

## 2.3 Meetmethoden

In Tabel 2 wordt in het kort weergegeven welke meetmethoden zijn ingezet voor het bepalen van de in de vorige paragraaf weergegeven variabelen. Een gedetailleerde beschrijving van de meetinstrumenten, hun kalibratie/justering, controles, onderhoud en algemene werkprocedures is weergegeven in Bijlagen B1 t/m B7. Een foto-impressie van de praktische kant van de uitvoering van de metingen in de stallen is opgenomen in Bijlage C.

Tabel 2

*Overzicht van gebruikte meetmethoden.*

| Gemeten variable                                             | Meetprincipe       | Meetmethode                                                                 |
|--------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Concentratie PM100 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )              | Gravimetrie        | IOM sampler (50%-cutpoint: 100 $\mu\text{m}$ ) met luchtpomp (2 L/min)      |
| Concentratie PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )               | Gravimetrie        | PM10 cycloon type URG-2000-30ENB met luchtpomp (16,7 L/min)                 |
| Concentratie PM2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )              | Gravimetrie        | PM2,5 cycloon type URG-2000-30 EG met luchtpomp (16,7 L/min)                |
| Minuutwaarden concentratie PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Lichtverstrooiing  | TSI DustTrak model 8520                                                     |
| Deeltjesgrootteverdeling (#/L)                               | Lichtverstrooiing  | GRIMM Portable Aerosol Spectrometer model 1.109                             |
| Concentratie CO <sub>2</sub> (ppm)                           | Gaschromatografie  | Interscience gaschromatograaf type 8000                                     |
| Minuutwaarden concentratie CO <sub>2</sub> (ppm)             | IR spectrometrie   | Testo multifunctioneel meetinstrument type 435-4 met CO <sub>2</sub> voeler |
| Temperatuur (°C)                                             | Weerstandsensor    | Escort iLog gecombineerde T en RV logger                                    |
| Relatieve luchtvochtigheid (%)                               | Capacitieve sensor | Escort iLog gecombineerde T en RV logger                                    |
| Logging klimaatcomputer (–)                                  | Registratie pulsen | Campell Scientific databoxen, typen CR10, CR10X, CR23, CR23X                |

## 2.4 Weging stoffilters en bepaling endotoxinegehalte

De hoeveelheid bemonsterd stof op de filters is bepaald door voor en na de monsternamen de filters te wegen op een microbalans onder voor temperatuur ( $22 \pm 1$  °C) en relatieve luchtvochtigheid ( $34 \pm 5\%$ ) geconditioneerde omstandigheden. Na de weging is het aanwezige endotoxine op het filter in oplossing gebracht (geëxtraheerd) en de hoeveelheid endotoxine in het extract bepaald volgens NEN:EN 14031 met aanpassing. Bijlage D bevat een gedetailleerde beschrijving van de toegepaste weeg- en analyseprocedure.

Resultaten zijn uitgedrukt als endotoxinen units (EU) per ml extractie vloeistof, welke met behulp van het extractievolume en aangezogen volume lucht omgezet kan worden in de endotoxineconcentratie in de lucht, uitgedrukt in endotoxine units (EU) per kubieke meter lucht. Het endotoxinegehalte in het stof (EU/mg) wordt bepaald door de hoeveelheid endotoxine op het filter te delen door de massahoeveelheid stof op het filter.

## 2.5 Bepaling van het ventilatiedebiet

Het ventilatiedebiet ( $V$ ;  $\text{m}^3/\text{uur}$ ) is voor zowel leghennen, vleeskuikens als vleesvarkens bepaald door middel van de CO<sub>2</sub> balansmethode. Deze methode levert een accuraat daggemiddeld ventilatiedebiet. Dit debiet is omgerekend naar uurwaarden middels relatieve tijdsprofielen. Een uitgebreide beschrijving en de precieze rekenregels van deze methodiek is opgenomen in Bijlage E.

## 2.6 Berekening van emissies

Emissies van stof (PM100, PM10, en PM2,5) zijn bepaald volgens onderstaande formules [1] en [2]:

$$\text{PM emissie} = \frac{V_{\text{stal}} * ([\text{PM}]_{\text{binnen}} - [\text{PM}]_{\text{buiten}}) * 10^6 * 24 * 365}{n_{\text{dierplaatsen}}} \quad (\text{g/ jaar per dierplaats}) \quad [1]$$

$$\text{en: } V_{\text{dier}} * ([\text{PM}]_{\text{binnen}} - [\text{PM}]_{\text{buiten}}) * 10^3 \quad (\text{mg/uur per dier}) \quad [2]$$

Waarbij:

$V_{\text{stal}}$  = ventilatiedebiet (in m<sup>3</sup>/uur; gehele stal)

$V_{\text{dier}}$  = ventilatiedebiet (in m<sup>3</sup>/uur per dier)

$[\text{PM}]_{\text{binnen}}$  = concentratie van stof in de stal, nabij het emissiepunt (µg/m<sup>3</sup>)

$[\text{PM}]_{\text{buiten}}$  = concentratie van stof buiten de stal, nabij de luchtinlaat (µg/m<sup>3</sup>)

$10^6$  = conversiefactor van µg naar g

24 = conversiefactor van uur naar dag

365 = conversiefactor van dag naar jaar

$n_{\text{dierplaatsen}}$  = aantal geplaatste dieren bij de start van een productieronde

$10^3$  = conversiefactor van µg mg

Emissies van endotoxinen zijn bepaald volgens onderstaande formules [3] en [4]:

$$\text{Endotoxine emissie} = \frac{V_{\text{stal}} * ([\text{ET}]_{\text{binnen}} - [\text{ET}]_{\text{buiten}})}{n_{\text{dierplaatsen}}} \quad (\text{EU/uur per dierplaats}) \quad [3]$$

$$\text{en: } V_{\text{dier}} * ([\text{ET}]_{\text{binnen}} - [\text{ET}]_{\text{buiten}}) \quad (\text{EU/uur per dier}) \quad [4]$$

Waarbij:

$[\text{ET}]_{\text{binnen}}$  = concentratie van endotoxinen in de stal, nabij het emissiepunt (EU/m<sup>3</sup>)

$[\text{ET}]_{\text{buiten}}$  = concentratie van endotoxinen buiten de stal, nabij de luchtinlaat (EU/m<sup>3</sup>)

## 2.7 Registratie productiekenngetallen

Van elke meetdag werden de volgende productiekenngetallen vastgelegd (Tabel 3):

Tabel 3

Overzicht van geregistreerde productiekenngetallen per diercategorie.

| Leghennen                         | Vleeskuikens                      | Vleesvarkens                      |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Opzetdatum; dag in legronde       | Opzetdatum; dag in groeironde     | Oplegdatum; dag in groeironde     |
| Aantal dieren geplaatst in ronde  | Aantal dieren geplaatst in ronde  | Aantal dieren geplaatst in ronde  |
| Aantal dieren aanwezig op meetdag | Aantal dieren aanwezig op meetdag | Aantal dieren aanwezig op meetdag |
| Uitval (%)                        | Uitval (%)                        | Diergewicht (kg)                  |
| Diergewicht (kg)                  | Diergewicht (kg)                  | Energiewaarde voer                |
| Legpercentage (%)                 | Voeropname (kg/dier per week)     | Voeropname (kg/dier per dag)      |
| Eigewicht (gram)                  | Waterverbruik (L/dier per week)   | Waterverbruik (L/dier per dag)    |
| Eiproductie (kg/dier per dag)     | Water/voer-verhouding             | Water/voer-verhouding             |
| Voeropname (kg/dier per week)     |                                   |                                   |
| Waterverbruik (L/dier per week)   |                                   |                                   |
| Water/voer-verhouding             |                                   |                                   |



---

## 2.8 Statistische analyse: variantiecomponenten

De tussenbedrijfsvarianties en binnenbedrijfsvarianties voor de responsvariabelen – stofconcentraties, endotoxinegehalten in het stof en endotoxineconcentraties in de lucht – van de metingen in de stal nabij de luchttuitlaat zijn bepaald met een zogenaamd 'gemengd model' zoals weergegeven in formule [5]:

$$\text{Ln}(Y_{ijk}) = \beta_0 + \beta_1(\text{Diercat. } I) + b_k(\text{Bedrijf } k) + b_{jk}(\text{Meetdag } j, \text{ Bedrijf } k) + \varepsilon_{ijk} \quad [5]$$

Waarbij:

$\text{Ln}(Y_{ijk})$  = natuurlijke logaritme van responsvariabele  $Y$  van meting  $i$  op Meetdag  $j$  bij Bedrijf  $k$

$\beta_0$  = overall gemiddelde; een constante

$\beta_1$  = fixed effect van diercategorie  $I$  (leghennen, vleeskuikens of vleesvarkens)

$b_k$  = random effect van bedrijf  $k$  (1, 2, ..., 6)

$b_{jk}$  = random effect van meetdag  $j$  (1, 2, ..., 4) genest binnen bedrijf  $k$

$\varepsilon_{ijk}$  = residuele error term; weerspiegelt de variatie van de 4-uursmetingen binnen een dag

De door het model bepaalde varianties voor de verschillende variantieniveaus (tussen bedrijf; tussen dag - binnen bedrijf; binnen dag - binnen bedrijf) op natuurlijke logaritmische schaal zijn omgerekend naar variatiecoëfficiënten op normale schaal.

## 3 Resultaten emissiemetingen

### 3.1 Productiekengetallen, klimaat en ventilatie

Alle 24 geplande metingen zijn succesvol verlopen. In Bijlage F zijn de productiekengetallen opgenomen zoals deze voor elke meting zijn geregistreerd. In Bijlage G zijn de resultaten t.a.v. klimaat en ventilatie opgenomen. Uit deze gegevens blijkt dat de metingen zijn uitgevoerd bij gangbare omstandigheden voor de onderzochte typen bedrijven. Tot slot zijn de relatieve ventilatieprofielen opgenomen in Bijlage H. Uit deze profielen blijkt dat het ventilatiedebiet overdag hoger was dan 's nachts. Dit is eveneens normaal omdat de dieren overdag/tijdens lichtperioden actiever zijn en meer warmte produceren, zodat een hoger debiet moet worden gehanteerd om deze warmte af te voeren en de klimaatcondities in de stal binnen optimale grenzen te houden.

### 3.2 Concentraties van stof

In Tabel 4 zijn de concentraties van PM100, PM10 en PM2,5 weergegeven zoals gemeten tijdens de dag- en nachtmeting in de stal (middelingstijd: vier uren) en buiten de stal (middelingstijd: 24 uren). Uit deze tabel blijkt dat de hoogste stofconcentraties voorkomen bij de leghennen. Verder is bij de leghennen een sterk dag/nacht-verschil zichtbaar, met overdag concentraties die gemiddeld een factor 42 hoger liggen dan 's nachts. Bij vleeskuikens en vleesvarkens is dit minder uitgesproken met respectievelijk een factor 2 en een factor 1,2. In Bijlage I zijn de profielen van de relatieve stofconcentratie opgenomen; hierin komt dit beeld eveneens duidelijk naar voren. De relatieve stofconcentraties en relatieve stofprofielen zijn vergelijkbaar met de eerder gepubliceerde gegevens voor Nederlandse stallen (Winkel et al., 2015; Tabel 3 en Figuur 2 hierin).

Tabel 4

*Gemiddelde stofconcentraties ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in de zes stallen (dag en nacht), alsook buiten de stallen, nabij de inlaat voor frisse lucht (buiten). Tussen haakjes is de standaarddeviatie tussen metingen ( $n=4$ ) weergegeven.*

| Fractie | Positie           | Leghennenstal |               | Vleeskuikenstal |            | Vleesvarkenstal |            |
|---------|-------------------|---------------|---------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
|         |                   | 1             | 2             | 1               | 2          | 1               | 2          |
| PM100   | Stal, dag (4 h)   | 23.634 (3723) | 19.748 (5378) | 3249 (1155)     | 2307 (638) | 3212 (1768)     | 1354 (314) |
|         | Stal, nacht (4 h) | 1476 (546)    | 591 (266)     | 3273 (1068)     | 990 (514)  | 1780 (679)      | 1418 (719) |
|         | Buiten (24 h)     | 129 (86)      | 151 (85)      | 33 (16)         | 150 (103)  | 15 (13)         | 21 (11)    |
| PM10    | Stal, dag (4 h)   | 12.311 (2735) | 11.814 (3748) | 1424 (318)      | 1310 (655) | 934 (336)       | 437 (72)   |
|         | Stal, nacht (4 h) | 536 (79)      | 282 (57)      | 1524 (398)      | 521 (333)  | 606 (175)       | 380 (50)   |
|         | Buiten (24 h)     | 84 (70)       | 53 (28)       | 15 (8)          | 99 (73)    | 20 (5)          | 26 (17)    |
| PM2,5   | Stal, dag (4 h)   | 644 (133)     | 548 (185)     | 62 (12)         | 55 (13)    | 35 (19)         | 36 (6)     |
|         | Stal, nacht (4 h) | 24 (9)        | 26 (9)        | 75 (27)         | 22 (4)     | 53 (37)         | 35 (4)     |
|         | Buiten (24 h)     | 14 (7)        | 14 (4)        | 6 (2)           | 10 (3)     | 8 (4)           | 17 (14)    |

### 3.3 Deeltjesgrootteverdeling van het stof

In het huidige onderzoek bedroeg de PM2,5/PM100 verhouding in de stal (gecorrigeerd voor de buitenconcentratie) 0,02 voor leghennen, 0,02 voor vleeskuikens en 0,02 voor vleesvarkens. In de studie van Winkel et al. (2015) bedroegen deze verhoudingen respectievelijk 0,02 / 0,03 / 0,03 hetgeen als vergelijkbaar kan worden beschouwd.

In het huidige onderzoek bedroeg de PM2,5/PM10 verhouding in de stal (gecorrigeerd voor de buitenconcentratie) 0,04 voor leghennen, 0,04 voor vleeskuikens en 0,05 voor vleesvarkens. In de

studie van Winkel et al. (2015) bedroegen deze verhoudingen respectievelijk 0,06 / 0,07 / 0,07 hetgeen als vergelijkbaar kan worden beschouwd.

In het huidige onderzoek bedroeg de PM10/PM100 verhouding in de stal (gecorrigeerd voor de buitenconcentratie) 0,49 voor leghennen, 0,49 voor vleeskuikens en 0,30 voor vleesvarkens. In de studie van Winkel et al. (2015) bedroegen deze verhoudingen respectievelijk 0,40 / 0,44 / 0,32 hetgeen als vergelijkbaar kan worden beschouwd.

De resultaten van de deeltjesgrootteverdeling van het stof met diameters tussen 0,25 tot 32 µm op basis van lichtverstrooiing zijn opgenomen in Bijlage K. In deze figuren zijn tevens de verdelingen weergegeven zoals gerapporteerd voor Nederlandse stallen door Lai et al. (2014). Uit Bijlage K blijkt dat de deeltjesgrootteverdelingen zoals gevonden in de huidige studie een vergelijkbaar patroon volgen als die van Lai et al. (2014). NB: aangezien de studies van Winkel et al. (2015) en Lai et al. (2014) meer bedrijven omvat en meer herhaalde metingen op de bedrijven zijn de gemiddelde schattingen van de stoffractieverhoudingen en deeltjesgrootteverdelingen uit deze studies gebruikt voor de verdere berekeningen in deel B.

### 3.4 Endotoxinegehalte in het stof

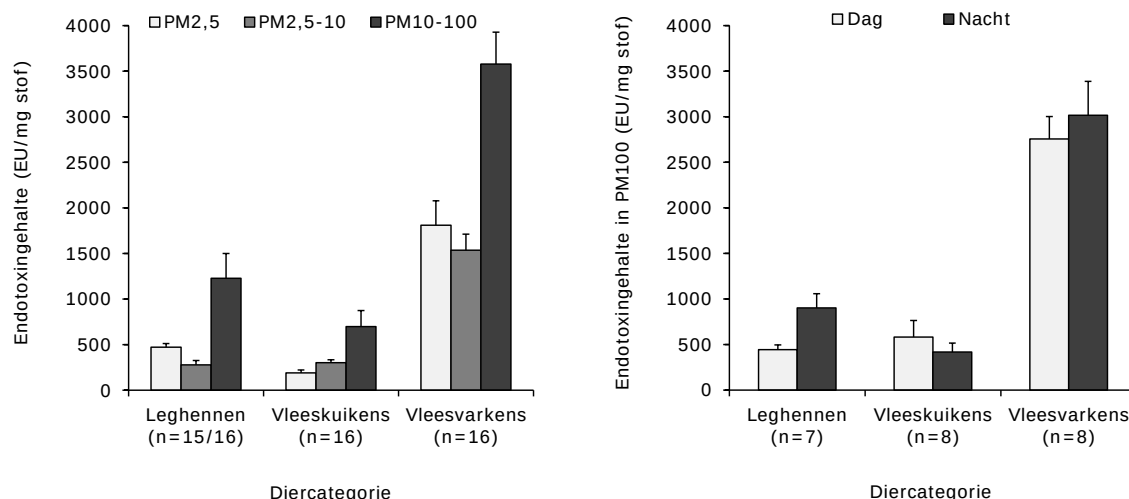
In Tabel 5 zijn de endotoxinegehalten in het stof weergegeven zoals gemeten voor de fracties PM100, PM10 en PM2,5; tijdens de dag- en nachtmeting in de stal (middelingstijd: vier uren) en buiten de stal (middelingstijd: 24 uren). De tabel geeft zowel het 'gewone' rekenkundige gemiddelde als het geometrische gemiddeldes (benadering van de mediaan-waarde, het middelste getal in een rangschikking van alle waarden van groot naar klein; zie ook de begrippenlijst op blz. 7).

Uit Tabel 5 blijkt dat het endotoxinegehalte van het stalstof bij vleesvarkens hoger is dan bij de twee pluimveecategorieën. Uit de tabel blijkt verder dat het endotoxinegehalte in het buitenstof bij de stalinlaat in de meeste gevallen lager is dan in het stalstof. De gehalten kunnen worden vergeleken met het overzicht in Tabel 2 van de literatuurstudie die aan dit onderzoek vooraf ging (Winkel et al., 2014). Hieruit blijkt dat het endotoxinegehalte in leghennenstof (PM100) enigszins hoger is dan de 100 tot 620 EU/mg gerapporteerd voor leghennen in grondhuisvesting door Kirychuk et al. (2010). Het endotoxinegehalte in vleeskuikenstof (PM100) is hoger dan de 64 tot 160 EU/mg gerapporteerd door Jones et al. (1984). Het endotoxinegehalte in vleesvarkenstof (PM100) is hoger dan de 533 tot 788 EU/mg gerapporteerd door Ogink et al. (1997). De endotoxinegehalten in PM10 verzameld bij de luchtinlaat buiten de stal liggen aanzienlijk hoger dan de 20 tot 88 EU/mg gerapporteerd door Schinasi et al. (2011) in buitenstof verzameld in 16 Amerikaanse woonkernen in rurale gebieden met veehouderij (op afstand van bedrijven). Het kan niet uitgesloten worden dat wervelingen van luchtstromen rond het bedrijf hebben geresulteerd in invloed van het bedrijf op de metingen bij de luchtinlaat.

**Tabel 5**

*Geometrisch | rekenkundig gemiddelde endotoxinegehalten in het stof (EU/mg) in de zes stallen (dag en nacht), alsook buiten de stallen nabij de luchtinlaat (buiten). Tussen haakjes is de standaarddeviatie tussen metingen (n=4) weergegeven.*

| Fractie | Positie           | Leghennenstal      |                    | Vleeskuikenstal   |                    | Vleesvarkenstal    |                    |
|---------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|         |                   | 1                  | 2                  | 1                 | 2                  | 1                  | 2                  |
| PM100   | Stal, dag (4 h)   | 382   384 (48,5)   | 484   505 (167)    | 705   880 (617)   | 285   286 (21,0)   | 2499   2578 (770)  | 2870   2937 (665)  |
|         | Stal, nacht (4 h) | 636   636 (23,7)   | 1080   1169 (510)  | 486   556 (348)   | 270   281 (89,9)   | 3399   3514 (1012) | 2359   2518 (954)  |
|         | Buiten (24 h)     | 243   379 (355)    | 412   544 (513)    | 313   754 (1194)  | 177   194 (85,9)   | 1434   4815 (7808) | 299   510 (466)    |
| PM10    | Stal, dag (4 h)   | 89,1   93,1 (31,9) | 148   172 (94,4)   | 338   382 (206)   | 256   261 (62,7)   | 1645   1842 (978)  | 1143   1245 (531)  |
|         | Stal, nacht (4 h) | 374   376 (44,1)   | 488   491 (64,5)   | 281   305 (145)   | 236   238 (33,1)   | 1845   1933 (631)  | 1093   1120 (270)  |
|         | Buiten (24 h)     | 116   151 (108)    | 160   201 (137)    | 124   322 (491)   | 132   134 (25,9)   | 204   270 (255)    | 52,1   88,1 (87,9) |
| PM2,5   | Stal, dag (4 h)   | 505   521 (158)    | 556   564 (109)    | 262   293 (159)   | 113   113 (9,37)   | 3119   3174 (656)  | 998   1053 (417)   |
|         | Stal, nacht (4 h) | 469   493 (196)    | 295   311 (103)    | 212   248 (138)   | 107   111 (31,9)   | 1621   1835 (932)  | 1013   1177 (720)  |
|         | Buiten (24 h)     | 35   91,6 (137)    | 58,1   93,8 (84,5) | 27,7   69,0 (106) | 30,8   33,9 (18,2) | 71,5   157 (186)   | 9,60   13,0 (10,3) |



**Figuur 1.** Links: het (rekenkundig) gemiddelde endotoxinegehalte van de dag- en nachtmetingen in de stal vergeleken tussen de stoffracties van 0–2,5  $\mu\text{m}$ , 2.5–10  $\mu\text{m}$  en 10–100  $\mu\text{m}$ . Rechts: het gemiddelde endotoxinegehalte in PM100 vergeleken tussen dag en nacht. De opgenomen betrouwbaarheidsintervallen hebben betrekking op de standaardfouten van het gemiddelde. Er ontbreekt 1 waarneming bij PM100 leghennen.

De gegevens in Figuur 1 (links) laten zien dat het endotoxinegehalte voor alle diercategorieën hoger is in de fractie van 10 tot 100  $\mu\text{m}$  dan in de fractie kleiner dan 10  $\mu\text{m}$ . Dit beeld komt overeen met de resultaten van deeltjesgrootte specifieke metingen van Kirychuk et al. (2010). Zij vonden bij leghennen in grondhuisvesting de hoogste endotoxinegehaltenes in deeltjes groter dan 10  $\mu\text{m}$ , terwijl in de stoffracties van kleinere deeltjesgrootte het endotoxinegehalte lager was. Voor vleeskuikens en vleesvarkens zijn geen relevante bronnen bekend waarmee de gegevens in Figuur 1 (links) kunnen worden vergeleken.

De gegevens gepresenteerd in Figuur 1 (rechts) tonen voor vleeskuikens en vleesvarkens geen wezenlijke verschillen in het endotoxinegehalte in PM100 tussen dag en nacht. Bij leghennen echter, lijkt PM100 tijdens de nacht meer endotoxinen te bevatten.

### 3.5 Emissies van stof

In Tabel 6 zijn per stal de stofemissies van de PM100, PM10 en PM2,5 fractie weergegeven, tijdens de dag- en nachtmeting in de stal (middelingstijd: vier uren). Uit de tabel blijkt dat per dier (of dierplaats) de emissies het hoogste zijn voor een varken, gevolgd door een leghen en daarna een vleeskuiken. Verder valt op dat emissies overdag aanzienlijk hoger zijn dan 's nachts. Dit wordt veroorzaakt doordat zowel de stofconcentraties als de ventilatiedebieten overdag hoger zijn dan 's nachts. Stofconcentratie en ventilatiedebiet worden sterk bepaald door de activiteit en de daarmee gepaard gaande productie van stof en warmte door de dieren.

De stofemissies kunnen niet één op één worden vergeleken met de stofemissies gepubliceerd voor Nederlandse stallen door Winkel et al. (2015). In die studie werden namelijk emissies gerapporteerd over middelingstijden van 24 uur. De in dit onderzoek gevonden emissies liggen echter wel in de normale bandbreedte van emissieniveaus die in het onderzoek van Winkel et al. (2015) zijn gerapporteerd.

Tabel 6

*Geometrisch | rekenkundig gemiddelde emissies van stof in de zes stallen, uitgedrukt in mg/uur per dier (boven) en in g/jaar per dierplaats (onder). Tussen haakjes is de standaarddeviatie tussen metingen (n=4) weergegeven.*

| Fractie                  | Tijdstip        | Leghennenstal      |                    | Vleeskuikenstal    |                    | Vleesvarkensstal   |                    |
|--------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                          |                 | 1                  | 2                  | 1                  | 2                  | 1                  | 2                  |
| In mg/uur per dier       |                 |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| PM100                    | Overdag (4 h)   | 57,7   58,7 (12,8) | 68,6   71,1 (21,4) | 9,22   10,0 (4,56) | 6,47   6,84 (2,64) | 122   142 (81,3)   | 38,3   40,4 (16,6) |
|                          | 's Nachts (4 h) | 1,72   1,90 (1,01) | 1,24   1,30 (0,43) | 4,60   6,10 (6,01) | 1,72   1,78 (0,50) | 60,5   64,0 (22,6) | 26,8   28,0 (9,17) |
| PM10                     | Overdag (4 h)   | 33,8   34,9 (10,0) | 40,6   42,6 (15,1) | 4,14   4,59 (2,24) | 3,41   3,52 (1,03) | 37,2   41,9 (18,5) | 11,9   12,5 (4,97) |
|                          | 's Nachts (4 h) | 0,61   0,62 (0,13) | 0,73   0,82 (0,51) | 2,17   2,81 (2,62) | 0,81   0,86 (0,31) | 20,4   21,4 (6,51) | 7,28   7,38 (1,42) |
| PM2,5                    | Overdag (4 h)   | 1,75   1,85 (0,70) | 1,83   1,91 (0,69) | 0,16   0,20 (0,14) | 0,14   0,15 (0,06) | 0,92   1,31 (0,79) | 0,48   0,57 (0,35) |
|                          | 's Nachts (4 h) | 0,01   0,01 (0,02) | 0,04   0,04 (0,01) | 0,10   0,15 (0,18) | 0,02   0,03 (0,02) | 1,30   1,57 (0,99) | 0,27   0,37 (0,23) |
| In g/jaar per dierplaats |                 |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| PM100                    | Overdag (4 h)   | 494   502 (109)    | 582   604 (186)    | 79,8   86,7 (39,4) | 55,1   58,5 (23,3) | 1059   1238 (717)  | 320   341 (155)    |
|                          | 's Nachts (4 h) | 14,5   16,0 (8,54) | 10,5   10,9 (3,40) | 39,8   52,8 (51,9) | 14,7   15,2 (4,44) | 526   555 (192)    | 224   237 (89,3)   |
| PM10                     | Overdag (4 h)   | 286   295 (84,3)   | 345   362 (135)    | 35,9   39,8 (19,3) | 29,0   30,1 (9,03) | 323   364 (161)    | 99,3   105 (45,2)  |
|                          | 's Nachts (4 h) | 5,13   5,20 (0,98) | 6,16   6,93 (4,13) | 18,8   24,3 (22,7) | 6,89   7,36 (2,65) | 177   185 (55,7)   | 60,8   61,8 (13,8) |
| PM2,5                    | Overdag (4 h)   | 14,8   15,6 (5,81) | 15,5   16,3 (6,21) | 1,41   1,76 (1,22) | 1,15   1,24 (0,54) | 7,95   11,4 (6,90) | 4,00   4,78 (2,92) |
|                          | 's Nachts (4 h) | 0,07   0,11 (0,13) | 0,30   0,31 (0,11) | 0,83   1,28 (1,54) | 0,20   0,24 (0,14) | 11,3   13,7 (8,67) | 2,24   3,12 (2,01) |

### 3.6 Concentraties van endotoxinen

In Tabel 7 zijn per stal de endotoxineconcentraties in de lucht weergegeven, zoals gemeten in de fracties PM100, PM10 en PM2,5; tijdens de dag- en nachtmeting in de stal (middelingstijd: vier uren) en buiten de stal (middelingstijd: 24 uren). Uit de tabel blijkt dat de endotoxineconcentraties het hoogst zijn bij leghennen, gevolgd door vleesvarkens en daarna vleeskuikens. Uit de tabel blijkt verder dat endotoxineconcentraties – evenals stofconcentraties en stofemissies – overdag hoger zijn dan 's nachts. De gevonden endotoxineconcentraties in Tabel 7 komen goed overeen met de waarden van  $10^2$  tot  $10^4$  EU/m<sup>3</sup> voor pluimvee en varkens (Basinas et al., 2013), zoals weergegeven in Figuur 3A en 3B van de literatuurstudie die aan dit onderzoek vooraf ging (Winkel et al., 2014). Tot slot valt op dat de endotoxineconcentraties in Tabel 7, gemeten buiten de stal, nabij de luchtinlaat, aanzienlijk lager zijn dan binnen in de stal. Toch komen nabij de inlaat buitenluchtconcentraties voor die hoger liggen dan normaliter in 'schone' buitenlucht worden gevonden (zie Tabel 10 in Winkel et al., 2014), waarschijnlijk als gevolg van bedrijfsinvloed door luchtwervelingen rondom de gebouwen.

Tabel 7

*Geometrisch | rekenkundig gemiddelde endotoxineconcentratie (EU/m<sup>3</sup>) in de zes stallen (dag en nacht), alsook buiten de stallen, nabij de inlaat voor frisse lucht (buiten). Tussen haakjes is de standaarddeviatie tussen metingen (n=4) weergegeven.*

| Fractie | Positie           | Leghennenstal      |                    | Vleeskuikenstal    |                    | Vleesvarkensstal   |                    |
|---------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|         |                   | 1                  | 2                  | 1                  | 2                  | 1                  | 2                  |
| PM100   | Stal, dag (4 h)   | 8945   9000 (1254) | 9315   9881 (3375) | 2195   2567 (1642) | 639   650 (138)    | 7084   7825 (3931) | 3802   3901 (1051) |
|         | Stal, nacht (4 h) | 888   945 (373)    | 591   655 (314)    | 1529   1800 (1169) | 243   247 (60,1)   | 5766   6320 (3366) | 3091   3148 (698)  |
|         | Buiten (24 h)     | 15,5   50,3 (65)   | 57,5   59,2 (15,4) | 9,55   37,8 (67,3) | 20,6   31,0 (20,5) | 15,1   21,5 (15,2) | 5,68   8,16 (6,54) |
| PM10    | Stal, dag (4 h)   | 1075   1168 (593)  | 1684   2093 (1169) | 472   524 (265)    | 306   318 (101)    | 1451   1871 (1421) | 494   523 (191)    |
|         | Stal, nacht (4 h) | 199   203 (46,3)   | 135   136 (14,6)   | 417   462 (229)    | 107   118 (65,9)   | 1082   1250 (697)  | 413   434 (150)    |
|         | Buiten (24 h)     | 6,45   18,1 (20,1) | 7,52   13,5 (12,9) | 1,62   2,49 (2,74) | 10,3   13,6 (10,2) | 3,94   5,13 (4,43) | 1,17   1,59 (1,26) |
| PM2,5   | Stal, dag (4 h)   | 320   328 (80,8)   | 290   296 (62,2)   | 15,9   17,9 (10,7) | 6,06   6,13 (1,07) | 95,6   117 (64,9)  | 35,9   38,1 (16,5) |
|         | Stal, nacht (4 h) | 10,4   10,6 (2,20) | 7,46   7,53 (1,19) | 15,1   19,1 (13,3) | 2,27   2,47 (1,05) | 72,2   96,3 (60,6) | 35,7   41,1 (24,4) |
|         | Buiten (24 h)     | 0,45   0,99 (1,30) | 0,76   1,08 (0,93) | 0,17   0,52 (0,87) | 0,30   0,37 (0,30) | 0,50   0,74 (0,63) | 0,13   0,14 (0,05) |

### 3.7 Emissies van endotoxine

In Tabel 8 zijn per stal de endotoxine-emissies weergegeven zoals gemeten voor de fracties PM100, PM10 en PM2,5; tijdens de dag- en nachtmeting (middelingstijd: vier uren). Uit de tabel blijkt een vergelijkbaar beeld als bij de stofemissies, d.w.z.: per dier (of dierplaats) zijn de emissies het hoogste voor een varken, gevolgd door een leghen en daarna een vleeskuiken, en zijn emissies overdag aanzienlijk hoger zijn dan 's nachts. Er is slechts een zeer beperkt aantal studies bekend waarin endotoxine-emissies uit stallen zijn gerapporteerd, zoals samengevat in Tabel 7 in de literatuurstudie die aan dit onderzoek vooraf ging (Winkel et al., 2014). Hieruit blijkt dat de endotoxine-emissie bij leghennen in de PM100 fractie in dezelfde orde van grootte ligt als de (gemiddeld)  $21,5 \times 10^3$  EU/uur per dier gerapporteerd door Seedorf et al. (1998). De endotoxine-emissie bij vleeskuikens in de PM100 fractie is lager dan de (gemiddeld)  $32,7 \times 10^3$  EU/uur per dier gevonden door Seedorf et al. (1998). De endotoxine-emissie bij vleesvarkens in de PM100 fractie is hoger dan de  $99,6 \times 10^3$  EU/uur per dier gevonden door Seedorf et al. (1998) en de  $75,1 \times 10^3$  EU/uur per dier gevonden door Ogink et al. (1997). Opgemerkt moet worden dat in deze eerdere studies een andere meetstrategie (o.a. middelingstijd) werd toegepast, zodat emissieniveaus niet scherp vergeleken kunnen worden.

**Tabel 8**

*Geometrisch | rekenkundig gemiddelde emissies van endotoxinen in de zes stallen, uitgedrukt in EU/uur per dier ( $\times 1000$ ; boven) en in EU/uur per dierplaats ( $\times 1000$ ; onder). Tussen haakjes is de standaarddeviatie tussen metingen ( $n=4$ ) weergegeven.*

| Fractie                          | Tijdstip        | Leghennenstal      |                    |   |  | Vleeskuikenstal    |                     |   |  | Vleesvarkenstal    |                    |   |  |
|----------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|---|--|--------------------|---------------------|---|--|--------------------|--------------------|---|--|
|                                  |                 | 1                  |                    | 2 |  | 1                  |                     | 2 |  | 1                  |                    | 2 |  |
| In EU/uur per dier (×1000)       |                 |                    |                    |   |  |                    |                     |   |  |                    |                    |   |  |
| PM100                            | Overdag (4 h)   | 22,8   22,6 (6,54) | 33,2   35,7 (17,2) |   |  | 6,49   8,37 (5,91) | 1,88   2,02 (0,91)  |   |  | 304   335 (170)    | 112   122 (62,6)   |   |  |
|                                  | 's Nachts (4 h) | 1,15   1,29 (0,79) | 1,68   1,69 (0,15) |   |  | 2,23   4,79 (7,11) | 0,48   0,53 (0,28)  |   |  | 207   216 (79,1)   | 64,1   68,3 (30,7) |   |  |
| PM10                             | Overdag (4 h)   | 2,99   3,10 (0,85) | 5,97   7,68 (6,50) |   |  | 1,41   1,88 (1,49) | 0,90   0,99 (0,53)  |   |  | 62,4   86,9 (63,7) | 14,5   14,6 (2,37) |   |  |
|                                  | 's Nachts (4 h) | 0,24   0,25 (0,06) | 0,39   0,44 (0,26) |   |  | 0,61   0,92 (0,96) | 0,21   0,22 (0,08)  |   |  | 38,7   45,0 (22,2) | 8,54   8,58 (0,91) |   |  |
| PM2,5                            | Overdag (4 h)   | 0,90   1,03 (0,58) | 1,04   1,13 (0,54) |   |  | 0,05   0,07 (0,08) | 0,02   0,02 (0,01)  |   |  | 4,07   5,50 (3,21) | 1,05   1,10 (0,38) |   |  |
|                                  | 's Nachts (4 h) | 0,03   0,03 (0,01) | 0,02   0,02 (0,01) |   |  | 0,04   0,07 (0,09) | 0,01   0,01 (0,007) |   |  | 3,04   4,52 (2,82) | 1,05   1,12 (0,51) |   |  |
| In EU/uur per dierplaats (×1000) |                 |                    |                    |   |  |                    |                     |   |  |                    |                    |   |  |
| PM100                            | Overdag (4 h)   | 21,5   22,1 (6,28) | 32,2   34,8 (17,5) |   |  | 6,41   8,27 (5,83) | 1,82   1,98 (0,91)  |   |  | 302   333 (172)    | 106   118 (64,6)   |   |  |
|                                  | 's Nachts (4 h) | 1,12   1,26 (0,76) | 1,62   1,63 (0,14) |   |  | 2,20   4,73 (7,01) | 0,46   0,52 (0,28)  |   |  | 205   214 (79,1)   | 61,1   65,8 (32,3) |   |  |
| PM10                             | Overdag (4 h)   | 2,89   2,99 (0,79) | 5,78   7,54 (6,52) |   |  | 1,39   1,86 (1,47) | 0,88   0,97 (0,53)  |   |  | 61,9   86,1 (63,3) | 13,8   13,9 (2,17) |   |  |
|                                  | 's Nachts (4 h) | 0,24   0,24 (0,05) | 0,38   0,43 (0,24) |   |  | 0,61   0,91 (0,95) | 0,21   0,22 (0,08)  |   |  | 38,4   44,6 (22,2) | 8,15   8,16 (0,61) |   |  |
| PM2,5                            | Overdag (4 h)   | 0,87   0,99 (0,54) | 1,00   1,10 (0,55) |   |  | 0,05   0,07 (0,08) | 0,02   0,02 (0,01)  |   |  | 4,03   5,45 (3,20) | 1,00   1,04 (0,30) |   |  |
|                                  | 's Nachts (4 h) | 0,03   0,03 (0,01) | 0,02   0,02 (0,01) |   |  | 0,04   0,07 (0,09) | 0,01   0,01 (0,005) |   |  | 3,01   4,48 (2,82) | 1,00   1,06 (0,42) |   |  |

### 3.8 Variantiecomponenten

Variantie is een statistische term. De variantie is een maat voor de spreiding van een reeks getallen, oftewel de mate waarin de waarden onderling verschillen. Hoe groter de variantie, hoe meer de afzonderlijke waarden onderling verschillen. Voor het toetsingskader is het belangrijk om informatie te hebben over de spreiding in emissies en concentraties binnen en tussen bedrijven. De modellering van de verspreiding gaat uit van een gemiddelde emissie, terwijl de spreiding hieromheen de uitschieters naar boven en naar beneden bepalen. Een grotere spreiding in emissies binnen een bedrijf vertaalt zich waarschijnlijk ook in een grotere spreiding van concentraties op omgevingsniveau, wat van belang is als de overschrijding van een grenswaarde moet worden vastgesteld middels modellering (Winkel et al., 2015). Uit studies in de werkomgeving (Spaan et al., 2008) is bekend dat de spreiding van endotoxineconcentraties meestal groter is dan voor stofconcentraties. Daarom kan dit juist voor endotoxinen meer van belang zijn. Informatie over de variabiliteit in endotoxine-emissie is echter niet bekend. Daarom vond in het huidig onderzoek een verkenning hiernaar plaats door middel van een variantiecomponenten analyse op basis van de uitgevoerde metingen.

Bij een variantiecomponenten analyse wordt de totale variantie, dus de totale maat van spreiding, opgedeeld in deelvarianties aan de hand van bepaalde kenmerken. Deze deelvarianties geven de mate van spreiding als gevolg van deze kenmerken, bijvoorbeeld verschillen tussen bedrijven en dagen. In het geval van concentratiemetingen in de veehouderij zal een deel van de totale spreiding in concentraties komen doordat er bij verschillende bedrijven gemeten is. Dit type spreiding wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door verschillen in bedrijfsmanagement. Ook zullen metingen op verschillende dagen resulteren in van elkaar verschillende uitkomsten, en ook herhaalde metingen op dezelfde dag zullen een bepaalde mate van spreiding geven. De variatiecoëfficiënt is een relatieve maat voor de variantie, hierbij wordt de mate van spreiding relatief ten opzichte van het gemiddelde van de waarnemingen uitgedrukt.

In Tabel 9 zijn de variatiecoëfficiënten weergegeven voor stofconcentratie, endotoxinegehalte en endotoxineconcentratie (in Bijlage L zijn de varianties op de ongetransformeerde logschaal opgenomen). Net als in de werkomgeving zijn de variatiecoëfficiënten voor endotoxineconcentraties veelal hoger dan voor stofconcentraties. Omdat in deel B van deze rapportage de emissie gemodelleerd is aan de hand van het endotoxinegehalte in het stof (zie hoofdstuk 4.4) focussen we specifiek op deze uitkomsten. De relatieve spreiding 'tussen bedrijven' van het endotoxinegehalte in het stof varieert tussen 11 en 19% voor PM10 en bedraagt 30% voor PM100. Op het niveau 'binnen bedrijf' (tussen dag en binnen dag) zijn de variatiecoëfficiënten minstens even groot. Het aantal waarnemingen binnen een diercategorie is te beperkt is om diercategorie specifieke schattingen te berekenen. Dit geldt met name voor het aantal verschillende bedrijven binnen een diercategorie, te weten 2 binnen deze studie. De hier gepresenteerde variatiecoëfficiënten zijn daarom berekend voor de drie diercategorieën samen, zoals eerder gedaan is in de studie van Winkel et al. (2014). De data in Tabel 9 moeten als een eerste indruk van de te verwachten spreiding in concentraties c.q. gehalten worden geïnterpreteerd. Voor een definitieve inschatting van de variatie in concentraties zullen meer herhaalde metingen en meer bedrijven per diercategorie bemeten moeten worden.

**Tabel 9**

*Variatiecoëfficiënten (%) voor stofconcentratie, endotoxinegehalte en endotoxineconcentratie op drie variantieniveaus: tussen bedrijf, tussen dag binnen bedrijf, en binnen dag binnen bedrijf. De varianties op de originele schaal zijn opgenomen in Bijlage L.*

| Variatie-coëfficiënten        | PM100   |           | PM10    |           | PM2,5   |           |
|-------------------------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
|                               | Overdag | 's Nachts | Overdag | 's Nachts | Overdag | 's Nachts |
| <b>Stofconcentratie</b>       |         |           |         |           |         |           |
| Tussen bedrijf                | 23%     | 62%       | 25%     | 56%       | 0%      | 47%       |
| Tussen dag binnen bedrijf     | 33%     | 41%       | 31%     | 29%       | 33%     | 35%       |
| Binnen dag binnen bedrijf     | 33%     | 14%       | 14%     | 12%       | 25%     | 26%       |
| <b>Endotoxinegehalte</b>      |         |           |         |           |         |           |
| Tussen bedrijf                | 30%     | 30%       | 11%     | 19%       | 58%     | 32%       |
| Tussen dag binnen bedrijf     | 27%     | 37%       | 49%     | 26%       | 16%     | 58%       |
| Binnen dag binnen bedrijf     | 37%     | 20%       | 23%     | 19%       | 37%     | 31%       |
| <b>Endotoxineconcentratie</b> |         |           |         |           |         |           |
| Tussen bedrijf                | 49%     | 78%       | 40%     | 66%       | 51%     | 79%       |
| Tussen dag binnen bedrijf     | 29%     | 43%       | 60%     | 42%       | 43%     | 63%       |
| Binnen dag binnen bedrijf     | 37%     | 20%       | 26%     | 21%       | 28%     | 30%       |

---

## DEEL B: verspreidingsmodellering



---

## 4 Werkwijze verspreidingsmodellering

### 4.1 Werkwijze in het kort

In dit onderzoek zijn d.m.v. het verspreidingsmodel STACKS (versie 2015) de concentraties van endotoxinen berekend in de omgeving van denkbeeldige stallen voor leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens. Deze scenario's worden nader toegelicht in paragraaf 4.2.

Endotoxine wordt verondersteld via stof te emitteren, daarom is de verspreiding van endotoxinen gemodelleerd aan de hand van de verspreiding van stofdeeltjes in combinatie met het endotoxinegehalte van de stofdeeltjes. Het gaat dan niet alleen om PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub> (fijn stof), maar ook om inhaleerbaar stof (PM<sub>100</sub>), dat voor een belangrijk deel uit deeltjes tussen 10 µm en 100 µm bestaat en dus ook meer massa heeft. Voor de werkwijze heeft dit drie belangrijke consequenties:

- de verdeling van de stofmassa over deeltjesgrootteklassen inclusief de grotere deeltjesfracties moet bekend zijn en moet worden opgenomen in de modelberekeningen;
- de verdeling van het endotoxinegehalte in de deeltjesgrootteklassen dient bekend te zijn;
- de depositie van de (met name grotere) deeltjes moet in de berekeningen worden meegenomen als 'pluimdaling'.

Voor endotoxinen in de buitenlucht (op leefniveau) heeft de Gezondheidsraad een grenswaarde van 30 EU/m<sup>3</sup> (EU=endotoxine eenheden) geadviseerd rond veehouderijen (Gezondheidsraad, 2012). Deze is afgeleid van de grenswaarde voor endotoxinen in de werkomgeving van 90 EU/m<sup>3</sup> (Gezondheidsraad, 2010), welke geldt voor 8-urige blootstellingen. De grenswaarde voor de werkomgeving is goed onderbouwd op basis van experimentele studies (inhalatiestudies) waarbij ook na kortere blootstellingsduur effecten beschreven zijn, en onderzoeken onder diverse groepen beroepsmatig blootgestelde mensen. De grenswaarde voor endotoxinen in de buitenlucht (Gezondheidsraad, 2012) wordt geacht meer rekening te houden met gevoelige groepen die onderdeel uitmaken van de algemene bevolking, door de standaard beschermingsfactor 3 op de grenswaarde van endotoxinen in de werkomgeving toe te passen. Op basis van de beschikbare gegevens kon de gezondheidsraad geen uitspraken doen over het wel of niet optreden van gezondheidseffecten bij lagere blootstellingen in het algemene milieu. De blootstellingsduur en hoe vaak deze norm mag worden overschreden wordt niet nader beschreven door de Gezondheidsraad. Daarom is ervoor gekozen om het verspreidingsmodel zodanig aan te passen dat gerekend kan worden met variabele middelingstijden en variabele percentielwaarden.

Omdat voor endotoxinen reeds kortdurende blootstelling van ca. vier uren tot acute klachten kan leiden (zie hierboven en de literatuurstudie die aan het huidige onderzoek vooraf ging: Winkel et al., 2014), is er voor gekozen om in het huidige onderzoek 4-uursgemiddelde blootstellingen door te rekenen. Daarnaast is een afweging gemaakt om verschillende percentielwaarden variërend van 98,0% / 98,5% / 99,0% tot 99,9% te rapporteren. Het 98-percentiel is een vrij gebruikelijke percentielwaarde voor toetsing van buitenluchtnormen omdat extreme weersomstandigheden, en de daaruit voortvloeiende hoge concentraties luchtverontreiniging, moeilijk kunnen worden gecontroleerd. Een 98-percentielwaarde voor 4 uren-perioden per jaar betekent dan dat gedurende 44 tijdstippen van 4 uur, gemiddelde niveaus worden toegestaan met hogere waarden dan 30 EU/m<sup>3</sup>. Voor de andere percentielwaarden komt dit overeen met respectievelijk 22, 11 en 2 tijdstippen.

De aannames en de keuzes ten aanzien van bovenstaande aanpassingen aan het rekenmodel worden in de volgende paragrafen verder uitgewerkt en in paragraaf 4.5 samengevat en nader beargumenteerd. Het aangepaste verspreidingsmodel berekent voor de omgeving van fictieve stallen endotoxineconcentraties in de lucht, voor ieder uur, over een lange termijn. De uurwaarden worden gemiddeld over steeds vier uur en hieruit worden de percentielwaarden (bij de percentielen: 98,0% / 98,5% / 99,0% en 99,9%) berekend.

---

Behalve voor endotoxinen is ook de verspreiding van fijn stof (PM10) en geur voor de denkbeeldige stallen berekend op basis van de reguliere modellen ISL3a (PM10) en V-STACKS (geur) die bij vergunningverlening worden gebruikt. Met behulp van de berekende immissieprofielen voor de genoemde componenten kan vervolgens worden bepaald op welke afstand van de stal de concentratie van een component beneden de grenswaarde komt te liggen. Deze afstand geldt dan als de minimaal aan te houden afstand voor het vermijden van te hoge blootstelling. Door per voorbeeldbedrijf de berekende afstanden van de componenten onderling te vergelijken kan vastgesteld worden welke component de grootste afstand voor het vermijden van te hoge blootstelling vereist. Bij endotoxine is voor de grenswaarde uitgegaan van 30 EU/m<sup>3</sup>, bij PM10 en geur van de blootstellingswaarden die gelden in de vergunningverlening. Berekende immissieprofielen en resultaten van de vergelijking tussen componenten staan beschreven in hoofdstuk 5.

Verspreidingsberekeningen zijn gevoelig voor aannames en gekozen uitgangspunten in de berekeningen. In hoofdstuk 6 wordt daarom het effect van een aantal gemaakte keuzes op de eindresultaten nader onderzocht.

## 4.2 Stallen waarvoor de modellering is uitgevoerd

In onderdeel B van dit onderzoek zijn de staltypen meegenomen zoals deze ook in deel A zijn betrokken: stallen voor leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens. Er is uitgegaan van conventionele huisvestingstypes en productievormen (categorie 'Overige huisvesting' in de Rav-lijst), dat betekent bijvoorbeeld voor vleeskuikens dat de meest gangbare groeiperiode van 42 dagen per ronde is gehanteerd. Voor elk van deze drie staltypen zijn twee bedrijfsomvangs meegenomen: een gemiddeld bedrijf (30.000 leghennen, 40.000 vleeskuikens, of 3000 vleesvarkens) en een groot bedrijf (125.000 leghennen, 240.000 vleeskuikens, of 7000 vleesvarkens). Omdat voor het overschrijden van de grenswaarde van PM10-blootstelling de gebiedsafhankelijke achtergrondbelasting een grote rol speelt zijn deze stallen in drie regio's gesitueerd: één regio met een lage PM10 achtergrondbelasting (Vorden, Gelderland), één regio met een gemiddelde PM10 achtergrondbelasting (Boxtel, Noord-Brabant) en één regio met een hoge PM10 achtergrondbelasting (Ysselsteyn, Limburg). Er zijn dus (3 staltypen × 2 bedrijfsomvangs × 3 regio's =) 18 denkbeeldige stallen in dit onderzoek doorgerekend.

Tot slot is elke stal doorgerekend bij een jaarrond constante emissie (zoals nu voor geur en PM10 bij vergunningverlening gebeurt) en bij een meer realistische emissie door deze te variëren in de tijd als gevolg van ventilatiemanagement en omvang diersmassa (hetgeen de werkelijkheid beter weerspiegelt). Een nadere specificatie van de toegepaste emissieprofielen staat beschreven in paragraaf 4.6.

## 4.3 Deeltjesgrootteverdelingen in het model

Zowel in het onderzoek van Lai et al. (2014) als in deel A van deze studie is de deeltjesgrootteverdeling bepaald voor de hier relevante staltypen middels lichtverstrooiing (bijlage K). Deze omvatten de deeltjes bepaald in 30 grootteklassen van 0,25 tot 32 µm. De waargenomen deeltjesaantallen in de grootteklassen werden hierbij omgerekend naar massa aan de hand van de gemiddelde aerodynamische diameter van de deeltjesfractie en het soortelijk gewicht van stofdeeltjes, waarvoor een vaste waarde is gebruikt van 1.5 g/cm<sup>3</sup>, onafhankelijk van de deeltjesgrootte. Hiermee wordt de deeltjesgrootteafhankelijke massafractie verkregen voor 30 deeltjesklassen van 0,25 tot 32 µm.

In de huidige rapportage wordt de endotoxine-emissie gemodelleerd aan de hand van inhaleerbaar stof omdat uit metingen beschreven in deel A blijkt dat de endotoxineconcentratie bij bemonstering van de inhaleerbaar stof-fractie vele malen (3 tot 10x) groter is dan de endotoxineconcentratie in de PM10 fractie (zie Tabel 7), terwijl dit in veel mindere mate geldt voor de stofconcentraties (factor 2-3). Dit komt doordat het endotoxinegehalte in de grotere deeltjesfractie hoger is dan in de kleinere deeltjesfractie (zie ook Tabel 5) en doordat meer dan de helft van de stofmassa in de PM10-100

fractie zit. Hierdoor is het belangrijk om ook de verspreiding van grotere deeltjes mee te nemen in het rekenmodel. Om dit te kunnen doen dient ook de deeltjesgrootteverdeling van de deeltjes groter dan 32  $\mu\text{m}$  tot een grootte van 100  $\mu\text{m}$  bekend te zijn, evenals het endotoxinegehalte (EU/mg) in de verschillende deeltjesgrootteklassen. Omdat er geen meetgegevens beschikbaar zijn van de deeltjesverdeling in de range 32 tot 100  $\mu\text{m}$ , is het nodig hier een verantwoorde schatting van te maken: Middels onderstaande werkwijze is een schatting gemaakt van de stof-massafractie van deeltjes tussen 32 en 100  $\mu\text{m}$ :

1. De dataset van Lai et al. (2014) bevat geen inhaleerbaar stof niveaus. Op basis van de verhouding tussen PM10 en PM100 massaconcentraties voor vergelijkbare staltypen zoals beschreven door Winkel et al. (2015) is de massafractie van de PM10-100 fractie berekend voor de data van Lai et al. (2014).
2. Hierna is de massafractie van de PM10-32 fractie die bekend is van de deeltjesgrootte metingen in mindering gebracht op de berekende PM10-100 fractie. Wat resulteert is de massabijdrage van de PM32-100 fractie.

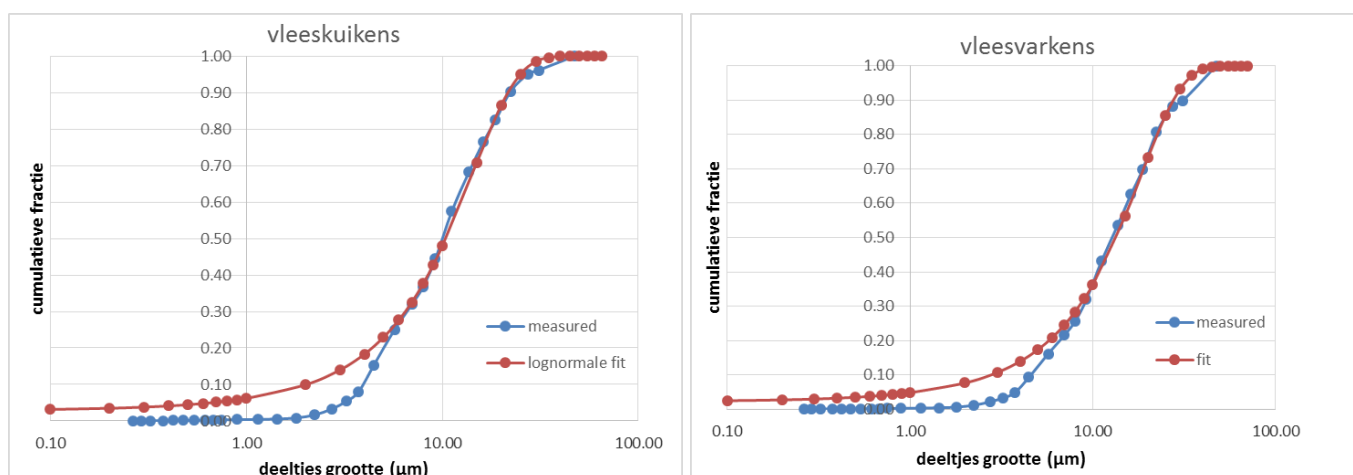
Op basis van deze werkwijze kunnen de massafracties bepaald worden in de deeltjesgrootte klassen PM0-2,5; PM0-10; PM10-32; PM0-32; PM32-100 en PM0-100 (Tabel 10).

**Tabel 10**

*De massafractie ( %) in verschillende deeltjesgrootteklassen voor de verschillende staltypen bepaald volgens de hierboven beschreven benaderingswijze.*

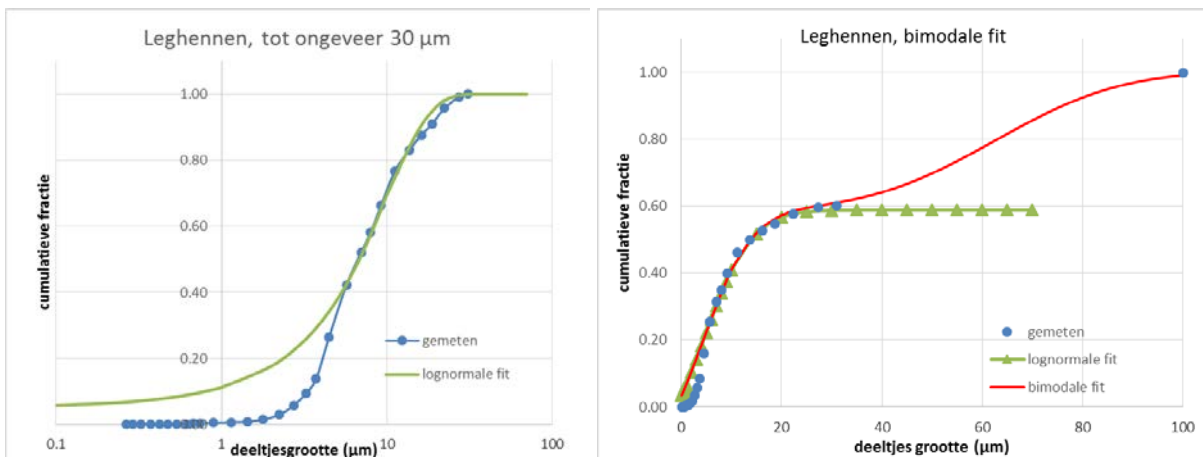
| Deeltjesgrootteklasse | Massafractie ( % ) |              |           |
|-----------------------|--------------------|--------------|-----------|
|                       | vleeskuikens       | vleesvarkens | Leghennen |
| PM <sub>0-2,5</sub>   | 2                  | 1            | 2         |
| PM <sub>0-10</sub>    | 44                 | 32           | 40        |
| PM <sub>10-32</sub>   | 52                 | 58           | 20        |
| PM <sub>0-32</sub>    | 96                 | 90           | 60        |
| PM <sub>32-100</sub>  | 4                  | 10           | 40        |
| PM <sub>0-100</sub>   | 100                | 100          | 100       |

In Figuur 2 is de cumulatieve deeltjesgrootteverdelingen (klassen 0,25-32 en 100) grafisch weergegeven. Hieruit blijkt dat de cumulatieve deeltjesgrootte verdelingen van vleeskuikenstallen (Figuur 2, links) en vleesvarkensstallen (Figuur 2, rechts) redelijk goed benaderd kunnen worden met een lognormale verdeling. De lognormale verdeling is zó geschaald (met een gemiddelde waarde en een waarde voor de standaarddeviatie) dat deze 'past' op de metingen. De fit wijkt in het gebied onder de 3  $\mu\text{m}$  enigszins af van de metingen. Dit is echter minder relevant omdat uit het eerste deel van dit onderzoek (onderdeel A) blijkt dat de kleine deeltjes relatief weinig endotoxinen bevatten.



**Figuur 2.** Deeltjesgrootteverdelingen voor vleeskuikens (links) en vleesvarkens (rechts) op basis van de metingen (measured; blauwe lijn) en berekend uit de lognormale fit (lognormale fit; rode lijn).

Voor leghennen bleek de deeltjesgrootteverdeling een meer gecompliceerde vorm te hebben. De lognormale verdeling van de deeltjesgrootte blijkt wel goed op te gaan voor de deeltjes van 0 tot ongeveer 30  $\mu\text{m}$  (Figuur 3 links). Echter ruwweg 40% van de massa is nog aanwezig in deeltjesgrootteklassen boven de 30  $\mu\text{m}$  (zie ook Tabel 10). Een onderverdeling naar deeltjesgrootteklassen binnen deze 40% is niet bekend, omdat in de genoemde meetreeksen de informatie boven 32  $\mu\text{m}$  in één klasse terecht komt. Om het endotoxinegehalte voor de gehele deeltjesgrootte verdeling te kunnen beschrijven dient de massafractie verdeling over de hele range bekend te zijn. Er is aangenomen dat de massafractie verdeling van 0 tot 100  $\mu\text{m}$  de som is van twee separate verdelingen: één van 0 tot 30  $\mu\text{m}$  en één van 30 tot 100  $\mu\text{m}$ . De bovenwaarde van 100  $\mu\text{m}$  is gekozen op grond van het feit dat de inhaleerbaar stoffractie gedefinieerd is met een afsnijpunt van 100  $\mu\text{m}$  en deze diameter vaak wordt aangehouden als bovengrens van deeltjes in lucht die het ademhalingsorgaan nog kunnen penetreren. Indien we van de tweede verdeling aannemen dat deze normaal verdeeld is dan resulteert een cumulatieve verdeling (fit) die redelijk goed bij de metingen past, zie Figuur 3 (rechts).



Figuur 3. Links: deeltjesgrootteverdeling voor leghennen ( tot ongeveer 30  $\mu\text{m}$ ) op basis van de metingen (measured; blauwe lijn) en berekend uit de lognormale fit (lognormale fit; groene lijn). Rechts: deeltjesgrootteverdeling voor leghennen berekend uit de bimodale fit (bimodale fit; rode lijn).

Voor het rekenmodel is het echter niet praktisch en ook niet nodig om met ruim 30 deeltjesgrootteklassen te rekenen; deze zijn teruggebracht tot tien klassen. De in Figuur 2 en 3 getoonde opgestelde functies zijn gebruikt om de massafracties te bepalen van de tien gekozen deeltjesgrootteklassen (Tabel 11).

Tabel 11

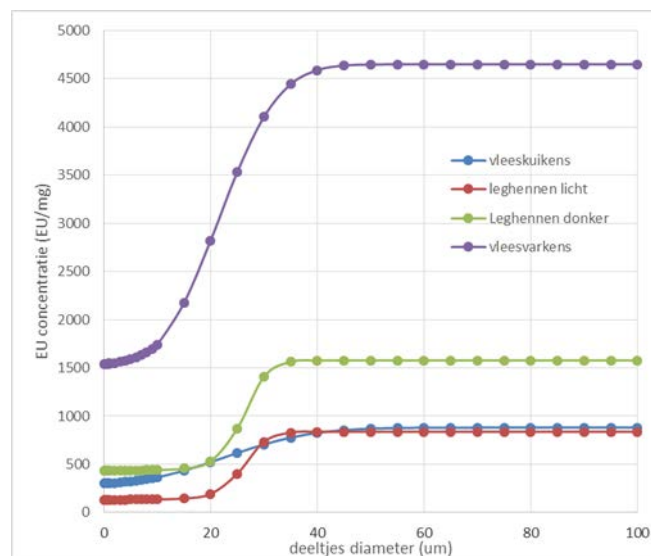
De tien deeltjesgrootteklassen gebruikt in de verspreidingsmodellering

| Deeltjesgrootteklasse<br>verspreidingsmodel | Ondergrens<br>deeltjesgrootte<br>( $\mu\text{m}$ ) | Bovengrens<br>deeltjesgrootte<br>( $\mu\text{m}$ ) | Middenpunt<br>diameter<br>( $\mu\text{m}$ ) |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1                                           | 1                                                  | 6                                                  | 3,5                                         |
| 2                                           | 6                                                  | 10                                                 | 8,0                                         |
| 3                                           | 10                                                 | 16                                                 | 13,0                                        |
| 4                                           | 16                                                 | 22                                                 | 19,0                                        |
| 5                                           | 22                                                 | 28                                                 | 25,0                                        |
| 6                                           | 28                                                 | 35                                                 | 31,5                                        |
| 7                                           | 35                                                 | 45                                                 | 40,0                                        |
| 8                                           | 45                                                 | 58                                                 | 51,5                                        |
| 9                                           | 58                                                 | 75                                                 | 66,5                                        |
| 10                                          | 75                                                 | 100                                                | 87,5                                        |

## 4.4 Endotoxinegehalten in het model

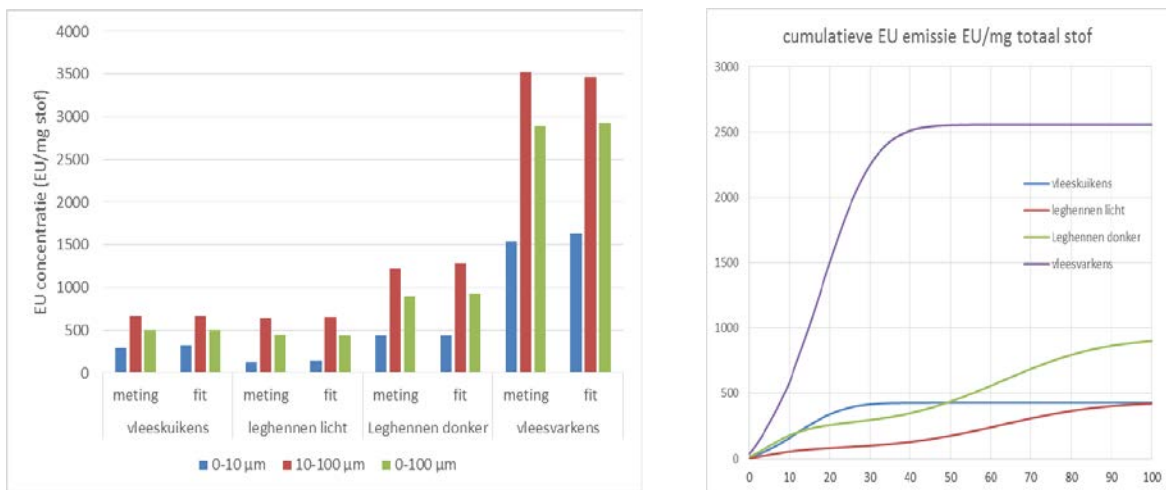
Om de verspreiding van endotoxinen te kunnen modelleren moet naast de stofmassa fractie voor elk van de tien klassen bepaald worden hoe groot het endotoxinegehalte (EU/mg) in deze klasse is.

Het endotoxinegehalte is afhankelijk van de deeltjesgrootte: grotere deeltjes bevatten meer endotoxine dan kleinere deeltjes (zie ook Tabel 5 in deel A). De endotoxinegehalten per deeltjesgrootteklasse zijn berekend aan de hand van drie gegevens: (1) het rekenkundig gemiddelde endotoxinegehalte in de PM0-10 fractie, (2) het rekenkundig gemiddelde endotoxinegehalte in de inhaleerbare fractie (PM0-100) en daaruit afgeleid (3) het endotoxinegehalte in de fractie van 10 tot 100  $\mu\text{m}$  (PM10-100) op basis van de relatieve stoffracties van PM10 en PM10-100. Deze gegevens zijn bepaald per diersoort en voor leghennen apart voor de licht en donker periode, aangezien voor leghennen geldt dat er een groot verschil aanwezig is tussen licht en donker periode (zie Figuur 1 deel A). Met behulp van deze drie waarden zijn functies afgeleid voor het verloop van het endotoxinegehalte met de deeltjesgrootte. Aangenomen is dat het endotoxinegehalte beschreven kan worden met een normale verdeling met als onafhankelijk parameter de deeltjesgrootte. De resulterende curves staan weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4. Geschat verloop van het endotoxinegehalte (EU/mg) in afhankelijkheid van de deeltjesgrootte per staltype.

Door de aldus geschatte verloop in endotoxinegehalten te combineren met de stofmassa fracties in de deeltjesgrootteklassen zoals beschreven in Tabel 10, wordt de cumulatieve toename van het endotoxinegehalte in het stof gemodelleerd (Figuur 5 rechts). Dit blijkt goed het endotoxinegehalte in de twee gemeten fracties te beschrijven. In Figuur 5 (links) zijn de in het eerste deel van dit onderzoek (onderdeel A) gemeten waarden en de uit de functies gefitte waarden voor het endotoxinegehalte in het stof weergegeven. De overeenkomst is hier prima; dat komt voornamelijk omdat er maar twee (en één afgeleide, namelijk de concentratie in de fractie van 10-100  $\mu\text{m}$ ) waarden benaderd hoeven te worden met de verdelingsfunctie, waarvoor (arbitrair) een normale verdeling gekozen is. Dat maakt dat de onzekerheid in de gevonden waarden van Figuur 5 groot is. Immers, de gemeten concentraties zijn afgeleid van een beperkt aantal metingen (2 bedrijven per diersoort) en bevatten dus veel onzekerheid. De verdeling van de concentraties is hier gevoelig voor. Als er iets andere waarden gemeten waren, dan worden ook andere gewichtsfracties en endotoxineconcentraties gemodelleerd.



Figuur 5. Links: endotoxinegehalte op basis van de metingen in PM10 en PM100) en zoals gefit. Rechts: het gefitte (gemodelleerde) cumulatieve endotoxinegehalte in het stof, afhankelijk van de deeltjesgrootte (deze rechter figuur is de cumulatie van figuur 4).

Op basis van de gefitte curves zijn vervolgens endotoxinegehalten (EU/mg stof) voor de tien gekozen deeltjesgrootteklassen voor de modellering bepaald (Tabel 12).

Tabel 12

De tien deeltjesgrootteklassen gebruikt in de verspreidingsmodellering.

| Deeltjesgrootteklasse<br>(ondergrens –<br>bovengrens) | Leghennen, licht |                        | Leghennen, donker |                        | Vleeskuikens   |                        | Vleesvarkens   |                        |
|-------------------------------------------------------|------------------|------------------------|-------------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|
|                                                       | Fractie<br>(%)   | End. geh.<br>(EU / mg) | Fractie<br>(%)    | End. geh.<br>(EU / mg) | Fractie<br>(%) | End. geh.<br>(EU / mg) | Fractie<br>(%) | End. geh.<br>(EU / mg) |
| 1 (1–6)                                               | 26,3             | 133                    | 26,3              | 436                    | 27,7           | 307                    | 20,9           | 1554                   |
| 2 (6–10)                                              | 14,8             | 135                    | 14,8              | 438                    | 20,4           | 345                    | 15,4           | 1668                   |
| 3 (10–16)                                             | 12,0             | 145                    | 12,0              | 455                    | 26,0           | 416                    | 23,3           | 2072                   |
| 4 (16–22)                                             | 5,1              | 207                    | 5,1               | 556                    | 15,9           | 511                    | 18,5           | 2743                   |
| 5 (22–28)                                             | 2,1              | 426                    | 2,1               | 910                    | 7,1            | 616                    | 12,0           | 3504                   |
| 6 (28–35)                                             | 2,0              | 724                    | 2,0               | 1393                   | 2,5            | 749                    | 7,1            | 4209                   |
| 7 (35–45)                                             | 4,4              | 838                    | 4,4               | 1578                   | 0,3            | 875                    | 2,5            | 4649                   |
| 8 (45–58)                                             | 9,2              | 838                    | 9,2               | 1578                   | 0,0            | 878                    | 0,3            | 4650                   |
| 9 (58–57)                                             | 13,5             | 838                    | 13,5              | 1578                   | 0,0            | 879                    | 0,0            | 4650                   |
| 10 (75–100)                                           | 10,6             | 839                    | 10,6              | 1578                   | 0,0            | 880                    | 0,0            | 4650                   |

## 4.5 Samenvatting aanpassingen van het model

In deze paragraaf staat een korte beschrijving van de aanpassingen in het STACKS model die nodig waren om de verspreiding van endotoxinen te kunnen modelleren.

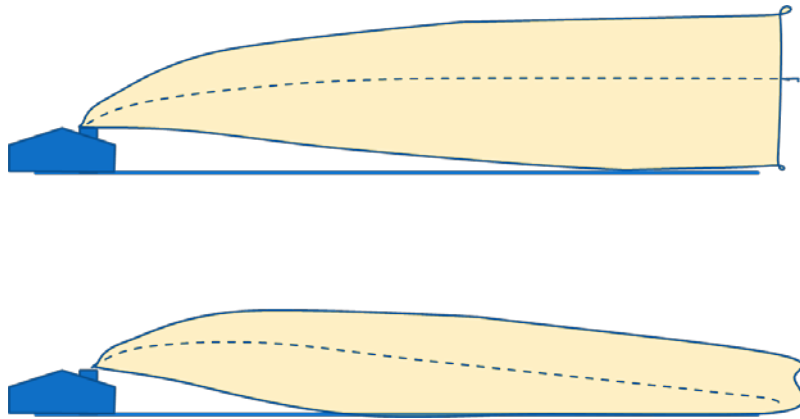
### 1. Vergroten van het aantal deeltjesgrootteklassen

In de eerste plaats is het aantal deeltjesgrootteklassen uitgebreid van vijf naar tien. De kenmerken van de stofdeeltjes zijn per diersoort in verschillende tabellen ondergebracht (voornamelijk de data uit Tabel 12).

### 2. Inbouwen van pluimdaling

Met grotere deeltjes wordt rekening gehouden door de valsnelheid (onder invloed van de zwaartekracht) op te nemen in de modellen. Dat maakt dat de pluimas zich niet meer horizontaal over de grond beweegt met de heersende windsnelheid, maar juist neerwaarts zal afbuigen. Pluimdaling is geen onderdeel van de standaardversie van STACKS, omdat er nooit gerekend wordt met deeltjes groter dan PM10. Deze pluimdaling is daarom in het model (per deeltjesfractie) ingebouwd. Voor hoge bronnen betekent dit dat de grondconcentraties benedenwinds reeds op kortere afstand hoger zijn dan wanneer zonder deze pluimdaling gerekend wordt. Voor lage bronnen, zoals stallen leidt dat (op niet

te korte afstanden; op ca. 200 tot 250 meter) daarentegen tot concentratieverlaging. Dat wordt dan versterkt doordat de zwaardere fracties 'uit de pluim vallen' waardoor de bronterm met toenemende afstand vermindert. Dit alles is grafisch weergegeven in Figuur 6. In modeltermen betekent dit dat de concentratie niet op het normale niveau van 1 (of 1,5) meter wordt berekend, maar – door de pluimdaling – op een hoger niveau: immers de concentratie die normaal hoger in de pluim heerst, heerst nu op grondniveau. Daarom wordt de concentratie berekend op de hoogte  $z + z_{\text{pluimdaling}}$ , (die met pluimdaling maatgevend is voor het grondniveau) waarbij de pluimdaling het product is van looptijd en daalsnelheid. De daalsnelheid wordt berekend in de depositiemodule (en is beschreven in de formele beschrijving van het nieuw nationaal model (NNM) (Infomil, 1998).



Figuur 6. Het effect van pluimdaling. Boven: normaal. Onder: met zwaardere deeltjes.

### 3. Inbouwen specifieke endotoxinegehalten per deeltjesgrootteklasse

In het model is toegevoegd dat elke stoffractie een specifiek endotoxinegehalte bevat. Door de massa en het endotoxinegehalte in elke deeltjesgrootteklasse met elkaar te vermenigvuldigen, de verspreiding voor deeltjes te bepalen en de uiteindelijke concentraties voor endotoxinen te sommeren over alle deeltjes en alle uren over een periode van vijf jaar door te rekenen, worden uurgemiddelde endotoxineconcentraties verkregen voor ieder uur over een periode van vijf jaar.

### 4. Inbouwen van variabele middelingstijden

Ook is de middelingstijd voor de percentielberekening uitgebreid naar alle mogelijke middelingstijden, niet alleen 24 uur (voor PM<sub>10</sub>) of 8 uur (voor CO). Hiermee is het mogelijk berekeningen te doen voor willekeurige nader te specificeren uursgemiddelde percentielwaarden.

De berekeningen in deze rapportage zijn gebaseerd op 4-uursgemiddelde percentielwaarden, hetgeen als een relevante middelingstijd wordt gezien voor de effecten van endotoxinen op de luchtwegen. Gezondheidseffecten zijn in de literatuur beschreven op basis van inhalatie-experimenten waarbij proefpersonen minimaal enkele uren endotoxine houdend stof hebben geïnhaald. Daarnaast vormen studies in de werkomgeving een belangrijke informatiebron. Hier worden in observationele studies blootstellingsmetingen uitgevoerd op basis van minimaal 4 tot 8-uurs middelingsperioden. Uurgemiddelde endotoxineconcentraties werden daarom eerst gemiddeld over alle opeenvolgende vier uur combinaties en hiervan werden de percentielwaarden (bij de percentielen: 98,0%, 98,5%, 99,0% en 99,9%) berekend.

### 5. Toepassing van verschillende emissieprofielen en variatie

Ten slotte zijn de berekeningen uitgevoerd voor een vast emissieprofiel (waarbij de emissie niet varieert met tijdstip van de dag of groeicyclus van de dieren), en voor een variabel emissieprofiel zoals beschreven in het rapport van Verhees en Erbrink (2013), voor details zie paragraaf 4.6. Daarnaast is rekening gehouden met (willekeurige) variatie van het endotoxinegehalte in het stof, zoals die in veel studies is waargenomen welke veelal groter is dan de variatie in stof. Details over hoe dit toegepast is staan beschreven in paragraaf 4.6.

---

## 4.6 Samenvatting uitgangspunten voor het model

Aangezien de uitkomsten van de modellering afhankelijk is van de gekozen waarden en uitgangspunten van de input-parameters, worden de uitgangspunten voor het model hieronder op een rij gezet:

### Omgeving

- Drie regio's: één regio met een lage PM10 achtergrondbelasting (Vorden, Gelderland), één regio met een gemiddelde PM10 achtergrondbelasting (Boxtel, Noord-Brabant) en één regio met een hoge PM10 achtergrondbelasting (Ysselsteyn, Limburg), zie bijlage M.
- Meteorologische data: 5 jaar (meest recente jaren: 2010-2014, bepaald via de PreSRM).
- Ruwheid van het terrein: 30 cm. Dit is een conservatieve waarde (d.w.z. iets aan de hoge kant). Een lagere ruwheid komt ook vaak voor en leidt tot hogere concentraties.

### Stallen

- Drie diercategorieën: leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens.
- Per diercategorie twee bedrijfsomvangs: de kleine schaalgrootte bestaat uit enkelvoudige stallen (vleeskuikens 40000 dieren, leghennen 30000 dieren, varkens 3000 dieren), de grote schaalgrootte bestaat uit meerdere stallen (vleeskuikens: 6 stuks van 40000, leghennen: 3 stuks van 40000, 45000 en 40000; vleesvarkens: 2 stallen van 3500). Stallen staan dicht op elkaar (rechthoeken) en worden als één gebouw gezien in het model, met elke stal wel zijn eigen emissiepunt.
- Staloriëntatie: lengteas west-oost, bronnen aan de oostkant (behalve voor vleesvarkens 7000 stuks, daar één bron midden-westzijde en één bron midden-oostzijde)
- Uitstroomsnelheid voor leghennen en vleeskuikens: geforceerd op 0,4 m/s. Diameter uitstroomopening: 1 m. Stalhoogte: 5 m. Uitworphoogte: 1,5 m (lengteventilatie, horizontaal gericht).
- Uitstroomsnelheid voor vleesvarkens: geforceerd op 4 m/s. Diameter uitstroomopening: 3 m. Uitworphoogte: 6,5 m (dakventilatie, verticaal gericht). Stalhoogte 6 m.

### Emissies

- Vaste emissie: de Rav codes voor PM10-emissie worden gehanteerd: traditionele stallen (categorieën 'overige huisvestingssystemen' in de lijsten). De gemodelleerde cumulatieve massafractie tot 100 µm is afgeleid uit de PM10-emissiefactor zoals vermeld op de Rav met omrekeningsfactoren voor de (uit literatuur en metingen verkregen) verhouding PM10 en inhaleerbaar stof (zie verder hieronder bij model aannames).
- Variabele emissie: grotendeels structureel, deels random:
  - o Variabele emissie: conform het rapport van Verhees en Erbrink (2013). Dat betekent:
    1. vooral voor vleeskuikens sterke emissievariëaties: de emissie is hier afhankelijk van de dag in de groeironde en de buitentemperatuur;
    2. voor leghennen: de emissie is hier afhankelijk van de buitentemperatuur en het tijdstip op de dag ('s nachts 10% van de dagemissie, overdag 145% van de dagemissie);
    3. voor vleesvarkens: geen variabele emissie doorgerekend.
  - o Extra (willekeurige) variatie is toegevoegd om de variatie in endotoxinegehalte van het stof, zoals die in veel studies is waargenomen, op te nemen in het model. Dit is gedaan door een tussendag/binnendag (willekeurige) variatie toe te voegen aan alle afzonderlijke 4-uurgemiddelde waarden, namelijk een variatiecoëfficiënt van 30% (normaal verdeeld). De waarde van 30% is gekozen op basis van de analyse van de metingen die in dit project zijn uitgevoerd. Deze weerspiegelt de variatie in het endotoxinegehalte in het stof, die onafhankelijk verondersteld wordt te zijn van de stofconcentratie (die zelf ook varieert, maar dan volgens de patronen beschreven in Verhees & Erbrink, 2013). Deze willekeurige variatie wordt bij de bedrijven met meerdere stallen onafhankelijk per stal verondersteld. Wat betekent dat het effect bij toename van het aantal stallen op een bedrijf afneemt.
- Voor vleeskuikens wordt aangenomen dat de groeicycli en daarmee de emissiepatronen van de afzonderlijke stallen binnen één bedrijf synchroon lopen, dat wil zeggen dat de vleeskuikens in alle stallen in dezelfde stadia van de groeicycli zijn. Dit is conform het in de praktijk toegepaste 'all-in, all out' systeem.



- Voor vleesvarkens en voor leghennen verlopen de emissievariëaties niet synchroon; elke stal start in het rekenmodel op een ander moment in de groei- of legcyclus. Dit is een valide aanname omdat in de praktijk verschillende stallen op een leghennenbedrijf verschillende leeftijden hebben en in vleesvarkensstallen doorgaans meerdere leeftijdsgroepen gehouden worden.
- Indien er een constante emissie wordt doorgerekend, wordt er voor leghennen geen aparte emissiefactor voor licht en donker genomen, maar een gemiddelde waarde voor het hele etmaal. Indien er een constante emissie wordt doorgerekend, wordt er uiteraard voor leghennen evenmin een variatie tussen de 4-uursgemiddelde waarden genomen. De variatiecoëfficiënt is in die gevallen dus nul.

#### **Het model**

- Toepassing van gebouwmodule (geen benadering).
- Percentielen van 4-uursgemiddelde waarden.
- Geen steekproefmethode, 100% uren doorrekenen in de periode 2010 t/m 2014.
- Geen warmte-emissie.
- Toepassing van tien deeltjesgrootteklassen (i.p.v. vijf in het NNM) tussen 0 en 100  $\mu\text{m}$ . Aan alle deeltjesgrootteklassen is een specifiek endotoxinegehalte toegekend.
- De massafractie in elk van de tien deeltjesgrootteklassen is afgeleid uit de metingen van Lai et al. (2014) en Winkel et al. (2015) en beschreven in paragraaf 4.2. Aangenomen is een lognormale deeltjesgrootteverdeling (op massabasis) voor vleeskuikens en vleesvarkens. Voor leghennen wordt de deeltjesgrootteverdeling verondersteld de som te zijn van twee verdelingen: één van 1 tot 30  $\mu\text{m}$  (lognormaal) en één van 30 tot 100  $\mu\text{m}$  (normaal verdeeld). De verdelingen gelden voor de licht- en donkerperiode apart.
- Aangenomen is dat de met de Grimm PAS model 1.109 gemeten deeltjesdiameters (optical latex equivalent diameters) overeenkomen met aerodynamische diameters. Mocht dit niet zo zijn, dan is er conservatief gerekend. Dat wil zeggen dat er dan te lage concentraties worden gepresenteerd. Voor het berekenen van de endotoxine verspreiding is gerekend met inhaleerbaar stofemissie. Dat wil zeggen: op de Rav emissiefactor voor PM<sub>10</sub> is een dierspecifieke factor toegepast om de emissiefactor van inhaleerbaar stof uit die voor PM<sub>10</sub> te berekenen. Deze factor bedroeg 2,50 voor leghennen, 2,27 voor vleeskuikens en 3,13 voor vleesvarkens. Deze omrekeningsfactoren zijn gebaseerd op de meetgegevens van Winkel et al. 2015.
- Er is gerekend met een soortelijk gewicht van de stofdeeltjes van 1,5 g/cm<sup>3</sup>.
- Depositie van deeltjes wordt verrekend conform het normale NNM schema, echter uitgebreid met daalsnelheden voor de grotere deeltjes zoals ook toegepast in andere moderne verspreidingsmodellen, zoals het Engelse ADMS model (NNM gaat niet veel verder dan ca. 30  $\mu\text{m}$ ; daarboven wordt de depositiesnelheid onderschat).
- Brontermverlies door depositie wordt verrekend volgens het normale NNM schema.
- De verspreiding van geur is berekend VStacks (versie 2010).
- De verspreiding van PM<sub>10</sub> is berekend met het normale NNM rekenhart, conform VSTACKS en ISL3a.

---

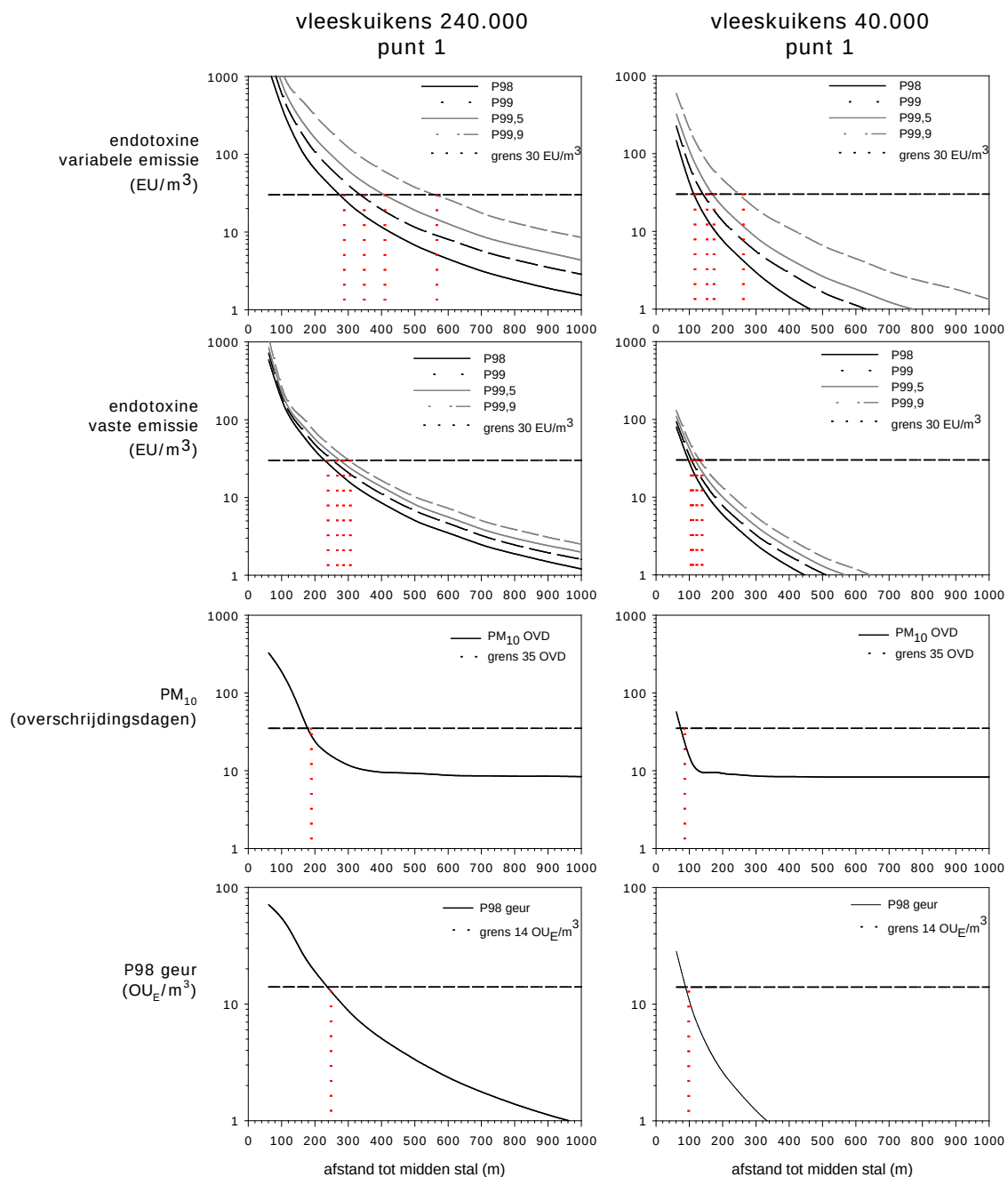
## 5 Resultaten verspreidingsmodellering

Met het verspreidingsmodel is het concentratieverloop van endotoxine in de buitenlucht berekend voor alle combinaties van: (1) regio, (2) diercategorie, (3) bedrijfsomvang en (4) emissiepatroon. Uit deze gegevens is per combinatie de afstand bepaald tot waar overschrijding van de norm voor endotoxinen ( $30 \text{ EU/m}^3$ ), geur en PM10 plaatsvindt. De norm bestaat uit een opgegeven blootstellingsgrens en bijbehorend beschermingsniveau uitgedrukt in een percentielwaarde. Voor geur is gekozen voor de norm van  $14 \text{ OU}_E/\text{m}^3$  als 98,0-percentiel. Dit is de waarde voor het buitengebied (niet-woonkernen) van concentratiegebieden. Voor PM10 is de norm van maximaal 35 overschrijdingsdagen genomen (d.w.z. dagen waarop 24-uursgemiddeld de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wordt overschreden) welke is vastgelegd in Europese richtlijn 2008/50/EC en landelijk in de Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit (RBL).

Voor endotoxinen moet nog een keuze worden gemaakt voor een acceptabel geacht overschrijdingscriterium. De hoogte van de percentielwaarde als indicator voor het beschermingsniveau van omwonenden is op dit moment nog niet vastgesteld. In deze rapportage zijn de percentielwaarden 99,9 / 99,5 / 99,0 en 98,0 meegenomen. Er zijn percentielwaarden gekozen met lagere kansen op overschrijding van de  $30 \text{ EU/m}^3$  dan het 98-percentiel (dat voor geurhinder wordt gehanteerd), omdat verhoogde endotoxineblootstelling geassocieerd is met acute effecten op het ademhalingsstelsel (longfunctieverandering, respiratoire symptomen, acute ontstekingsreacties). In verband met de aard van de effecten is de keuze gemaakt om hogere overschrijdingskansen (bij percentielwaarden  $<98$ ) niet te modelleren. Het 99,9-percentiel komt overeen met het accepteren van een frequentie van slechts twee maal per jaar waarop overschrijding van de grenswaarde van  $30 \text{ EU/m}^3$  plaatsvindt. Het 99,5-percentiel, het 99,0-percentiel en het 98,0-percentiel komen overeen met het accepteren van een frequentie van respectievelijk tienmaal, twintigmaal en veertigmaal per jaar waarop overschrijding van de norm van  $30 \text{ EU/m}^3$  plaatsvindt. Het woord 'maal' slaat hier dan op tijdsperioden van vier uren (i.p.v. dagen zoals bij geur of PM10).

Figuur 7 bevat een grafisch voorbeeld van het verloop van de gemodelleerde endotoxine-, PM10- en geur-immissie in relatie tot afstand van de stal voor de twee grootste omvangs van vleeskuikens op het punt met hoge PM10 achtergrondconcentratie. De bijbehorende afstand, daar waar de immissielijn de norm-lijn kruist, geeft de afstand weer tot waar grenswaarde wordt overschreden. Dit is bepaald voor alle combinaties van regio's, diertypen, stal-omvangs en emissiepatronen.

In Tabel 13 zijn voor de fictieve stallen per regio de afstanden weergegeven tot waar volgens het verspreidingsmodel overschrijding van de blootstellingsgrens plaatsvindt voor de gedefinieerde normen. Door in de tabel per staltype en regio de afstanden in de bijbehorende deelkolom te vergelijken wordt de emissiecomponent met sterkste zoneringsis zichtbaar, hier verder de kritieke norm genoemd (oranje gemarkeerd in de deelkolom, waarbij voor endotoxinen de minst beperkende percentielwaarde is aangegeven). Voor de berekeningen met variabele endotoxine-emissies bij leghennen en vleeskuikens dient in de onderlinge vergelijking voor geur en PM10 de afstandswaarden uit de kolom met constante emissie te worden genomen.



**Figuur 7.** Verloop van de gemodelleerde endotoxine-, PM<sub>10</sub>- en geur-immissie in relatie tot afstand van de stal voor de twee schaalgroottes van het vleeskuikenbedrijf met respectievelijk 240.000 en 40.000 vleeskuikens in regio 1. Relaties zijn weergegeven voor P<sub>98</sub>, P<sub>99</sub>, P<sub>99,5</sub> en P<sub>99,9</sub> endotoxineconcentraties, aantal PM<sub>10</sub> overschrijdingsdagen (OVD) en P<sub>98</sub> geurconcentraties. Voor endotoxine is er gerekend met variabele en vaste emissie. De afstand tot waar de respectievelijke grenswaarde wordt overschreden is aangeduid met een rode lijn.

Uit Tabel 13 blijkt in de eerste plaats dat de drie regio's sterk verschillen t.a.v. de PM<sub>10</sub> norm. Daar waar de achtergrondconcentratie hoog is (zoals lokaal in regio 3, Ysselsteyn, en regionaal in de Peel), wordt op alle afstanden tot de stal de norm voor PM<sub>10</sub> al overschreden, zelfs zonder de stalbijdrage. Hierdoor biedt de PM<sub>10</sub> norm in regio 3 al voldoende bescherming tegen overschrijdingen van de endotoxine- en geurnormering. De achtergrondconcentratie is hier zo hoog (ongeveer 33 µg/m<sup>3</sup> als jaargemiddelde) dat de PM<sub>10</sub> norm zonder bijdragen van (extra) stallen al overschreden wordt. Dit geldt dan voor het jaar 2015. Maar omdat de achtergrondconcentratie jaarlijks wordt geactualiseerd door het RIVM, biedt dit geen garantie dat het in de toekomst zo blijft. Daar waar de

achtergrondconcentratie laag is (zoals in de Achterhoek, evenals in veel andere plaatsen in Nederland) wordt de norm voor PM10 enkel dicht bij de stal overschreden.

**Tabel 13**

*Afstanden vanaf de stal (overschrijdingsafstanden; in meters) tot waar overschrijding van de in de eerste kolom aangegeven norm optreedt, per diercategorie, bedrijfsomvang en emissiepatroon. Merk op dat de norm (voor endotoxine, geur of PM10) met de grootste afstand de kritieke norm is: de norm van deze component wordt tot over de langste afstand vanaf de stal overschreden. Kritieke normen zijn **oranje** gemarkeerd. Een grafische weergave van deze tabel is opgenomen als Bijlage N bij dit rapport.*

| Diercategorie:            | Leghennen |      |         |      | Vleeskuikens |      |         |      | Vleesvarkens |        |
|---------------------------|-----------|------|---------|------|--------------|------|---------|------|--------------|--------|
| Bedrijfsomvang:           | 30.000    |      | 125.000 |      | 40.000       |      | 240.000 |      | 3000         | 7000   |
| Emissiepatroon:           | Const.    | Var. | Const.  | Var. | Const.       | Var. | Const.  | Var. | Const.       | Const. |
| <b>Regio 1 (Vorden)</b>   |           |      |         |      |              |      |         |      |              |        |
| End., 98,0-percentiel     | 110       | 107  | 234     | 183  | 104          | 116  | 238     | 287  | 143          | 162    |
| End., 99,0-percentiel     | 120       | 110  | 263     | 197  | 109          | 152  | 266     | 347  | 151          | 176    |
| End., 99,5-percentiel     | 133       | 116  | 281     | 208  | 121          | 173  | 285     | 409  | 157          | 187    |
| End., 99,9-percentiel     | 147       | 138  | 301     | 251  | 137          | 261  | 305     | 565  | 172          | 204    |
| Geur, 98,0-percentiel     | 99        | *    | 197     | *    | 97           | *    | 247     | *    | 244          | 379    |
| PM10, >35 OVD ‡           | 106       | *    | 142     | *    | 85           | *    | 188     | *    | 60           | 60     |
| <b>Regio 2 (Boxtel)</b>   |           |      |         |      |              |      |         |      |              |        |
| End., 98,0-percentiel     | 112       | 99   | 197     | 176  | 99           | 124  | 221     | 258  | 134          | 159    |
| End., 99,0-percentiel     | 121       | 111  | 220     | 185  | 115          | 149  | 240     | 325  | 139          | 170    |
| End., 99,5-percentiel     | 127       | 120  | 235     | 199  | 123          | 179  | 270     | 396  | 154          | 180    |
| End., 99,9-percentiel     | 137       | 130  | 270     | 224  | 132          | 245  | 298     | 549  | 175          | 200    |
| Geur, 98,0-percentiel     | 99        | *    | 197     | *    | 97           | *    | 247     | *    | 244          | 379    |
| PM10, >35 OVD ‡           | 96        | *    | 208     | *    | 60           | *    | 181     | *    | 60           | 60     |
| <b>Regio 3 (Ysselst.)</b> |           |      |         |      |              |      |         |      |              |        |
| End., 98,0-percentiel     | 109       | 106  | 204     | 177  | 102          | 111  | 229     | 278  | 139          | 177    |
| End., 99,0-percentiel     | 115       | 108  | 228     | 193  | 107          | 146  | 258     | 335  | 151          | 191    |
| End., 99,5-percentiel     | 124       | 110  | 252     | 204  | 110          | 172  | 277     | 399  | 156          | 201    |
| End., 99,9-percentiel     | 142       | 128  | 276     | 238  | 129          | 235  | 297     | 555  | 174          | 228    |
| Geur, 98,0-percentiel     | 99        | *    | 197     | *    | 97           | *    | 247     | *    | 244          | 379    |
| PM10, >35 OVD ‡           | 600       | *    | 600     | *    | 600          | *    | 600     | *    | 600          | 600    |

\* Voor geur en PM10 zijn alleen constante emissies gemodelleerd. De afstanden voor de endotoxinenormen kunnen vergeleken worden met die voor geur en PM10 met een vast emissiepatroon.

‡ OVD: overschrijdingsdagen waarop de daggemiddelde PM10 concentratie de 40 µg/m³ overschrijdt. 35 Overschrijdingsdagen per jaar is gelijk aan een ((35/365\*100=) 95,9-percentiel.

Kijken we dan naar regio's 1 en 2 (met minder hoge PM10 achtergrondconcentraties), dan blijkt dat voor vleesvarkens de geurnorm in alle gevallen strenger is dan de endotoxine- of PM10 norm, zodat voor vleesvarkens de geurnormering, mits gehanteerd volgens de in deze rapportage gevolgde uitgangspunten, reeds redelijk bescherming biedt tegen te hoge concentraties van endotoxinen (en PM10). De PM10 norm daarentegen biedt te weinig houvast.

Voor leghennen (regio's 1 en 2) en vleeskuikens (regio's 1 en 2) is het beeld genuanceerder: dit is afhankelijk van het gekozen beschermingsniveau tegen endotoxinen voor omwonenden, uitgedrukt in de gekozen percentielwaarde (99,9 / 99,5 / 99,0 of 98,0). Bij het accepteren van een relatief laag beschermingsniveau tegen endotoxinen (bijv. het 98,0-percentiel) liggen de endotoxine-, geur- en PM10 normeringen dicht bij elkaar. Dat wil zeggen: de concentraties van deze drie verontreinigingen overschrijden tot ongeveer dezelfde afstand van de stal hun norm. Bij een leghennenbedrijf met 30.000 dieren is de endotoxinenormering net limiterend t.o.v. geur en PM10 (deze twee normeringen geven dus net niet voldoende bescherming tegen verhoogde endotoxineblootstelling). Bij een leghennenbedrijf met 125.000 dieren en gerekend met een constante emissie, is het laagste beschermingsniveau voor endotoxinen (98,0-percentiel) reeds limiterend in vergelijking met geur en PM10. Bij een leghennenbedrijf met 125.000 dieren en gerekend met een variabele emissie zijn alleen de 99,5- en 99,9-percentielen voor endotoxine limiterend ten opzichte van geur en PM10 normering. Voor vleeskuikens (regio's 1 en 2) is het beeld ruwweg vergelijkbaar, zij het dat het rekenen met

---

variabele in plaats van vast endotoxine-emissie de endotoxinenorm eerder limiterend maakt. Daarbij moet opgemerkt worden dat de variabiliteit in emissie uit vleeskuikenstallen zich kenmerkt door zaagtandpatronen als gevolg van het all-in/all-out systeem, terwijl die uit leghennenstallen hoofdzakelijk bepaald wordt door een dag/nacht lichtregiem met een lage stofuitstoot 's nachts. Het merendeel van de stofuitstoot vindt hierdoor bij leghennen overdag met betere verspreidingscondities dan 's nachts plaats.

De resultaten in Tabel 13 duiden erop dat endotoxine-normering een aanvullende rol kan vervullen bij vleeskuikens en leghennen, maar niet in geval van een individueel vleesvarkensbedrijf. Bij de eerstgenoemde twee diercategorieën lift de bescherming tegen endotoxineconcentraties niet automatisch mee op de normeringen tegen andere verontreinigingen als geur en PM10 en vraagt daarmee specifieke aandacht. De berekeningen hebben wel beperkingen, een belangrijk punt is dat deze betrekking hebben op enkelvoudige bedrijven zonder cumulatieve effecten van nabijgelegen bedrijven. In situaties met veel dichtbij elkaar gelegen bedrijven kan het hier geschetste beeld anders liggen.

---

## 6 Gevoeligheidsanalyse verspreidingsmodellering

Uit de resultaten beschreven in hoofdstuk 5 blijkt dat bij vleeskuikens en leghennen de bescherming tegen endotoxineconcentraties niet automatisch meelift op de normering voor de andere verontreinigingen; geur en PM10. Deze conclusie is echter gebaseerd op verspreidingsberekeningen die gevoelig kunnen zijn voor bepaalde aannames en gekozen uitgangspunten in de berekeningen. Daarvan zullen we er nu vier nader onderzoeken op het effect op de eindresultaten, namelijk:

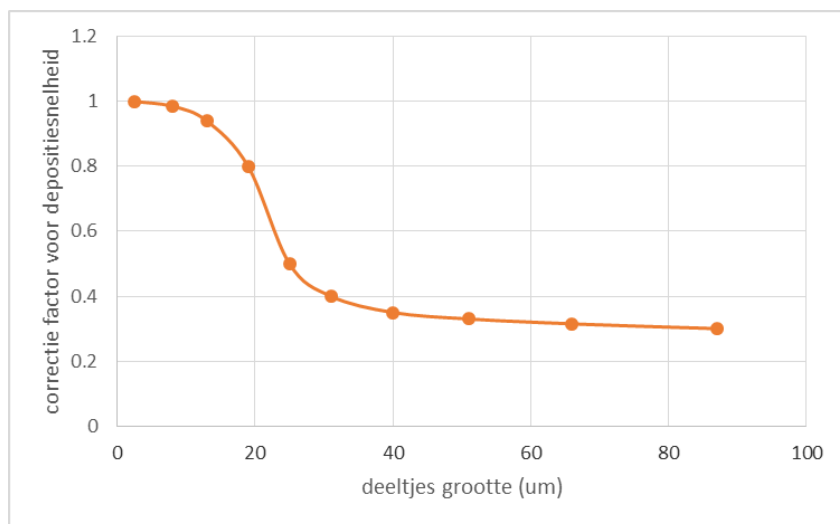
1. het depositiegedrag van de deeltjes (en dus de massaverdeling van het geëmitteerde stof);
2. de invloed van de gemodelleerde pluimdaling voor de zwaardere deeltjes;
3. de variatie in de gemeten 4-uursgemiddelde endotoxinegehalten in de deeltjes;
4. de terreinruwheid.

### 6.1 Invloed van depositiegedrag van de deeltjes

De met het verspreidingsmodel berekende endotoxineconcentraties bij leghennen en vleeskuikens zijn mede afhankelijk van het depositiegedrag van de deeltjes in de buitenlucht. Juist voor leghennen (en vleeskuikens) is dit relevant omdat uit het eerste onderdeel van dit onderzoek (A) is gebleken dat leghennenstof relatief veel grote deeltjes bevat. Juist deze grote (zwaardere) deeltjes zullen gevoelig zijn voor het 'uit de pluim vallen' waardoor hun aandeel in de pluim vermindert met de afgelegde afstand vanaf het emissiepunt van de stal. Dit proces in de pluim hangt sterk af van het aangenomen soortelijk gewicht van de deeltjes (ook wel: 'dichtheid' genoemd; uitgedrukt in bijv.  $\text{g/cm}^3$ ) en verder van de bijdrage van de zwaardere deeltjes aan de totale endotoxineconcentratie.

Om meer inzicht te krijgen in bovenstaande zijn, naast de reeds gerapporteerde berekeningen in hoofdstuk 5, twee alternatieve berekeningen gedaan voor regio 2 (Boxtel), zodat de volgende drie uitkomsten kunnen worden vergeleken:

- a. de basisuitkomsten van berekeningen zoals beschreven en gerapporteerd in hoofdstuk 5 van dit rapport. Bij deze berekeningen is gebruik gemaakt van een pluim die bestaat uit deeltjes in 10 deeltjesgrootteklassen met een uniform soortelijk gewicht van  $1,5 \text{ g/cm}^3$ ;
- b. uitkomsten van berekeningen waarbij de depositiesnelheid van deeltjes groter dan  $25 \mu\text{m}$  de helft bedraagt van wat bij de berekeningen onder a. is verondersteld. Deze optie is gekozen op basis van de studie van Rosenthal et al. (2007) waaruit voor leghennen blijkt dat de depositiesnelheid van de grotere deeltjes (ca.  $16 \text{ cm/s}$  bij een deeltjesdiameter van  $25 \mu\text{m}$ ) ruwweg de helft is van de in hoofdstuk 5 aangenomen waarde. In Figuur 8 is aangegeven hoe dit gegeven is uitgewerkt naar correctiefactoren voor de depositie- snelheid voor alle tien deeltjesgrootteklassen. Deze correctiefactoren zijn gebruikt in dit alternatief b om de endotoxineconcentraties te berekenen voor twee situaties: 240.000 vleeskuikens met variabele emissie en 125.000 leghennen met constante emissie. Deze twee zijn gekozen omdat deze de grootste overschrijdingsafstanden vertonen;



**Figuur 8.** Correctiefactoren om de depositiesnelheid mee te verlagen in de variant voor vleeskuikens (bedrijfsomvang 240.000) en leghennen (bedrijfsomvang 125.000) op basis van Rosenthal et al. (zie toelichting in tekst).

De correctiefactoren in Figuur 8 zijn gebaseerd op de uitleg in Rosenthal et al. (2007): voor de grotere deeltjes zou het soortelijk gewicht lager kunnen zijn dan voor de kleinere deeltjes en de aspect ratio (de verhouding tussen lengte-as en breedte-as van het deeltje) zou juist groter kunnen zijn dan voor de kleinere deeltjes. De motivatie hiervan is dat de kleinere deeltjes bij leghennen wellicht meer afkomstig zijn van de mest, terwijl de grotere deeltjes wellicht meer afkomstig zijn van veren. In dat geval zullen de grotere deeltjes een lager soortelijk gewicht hebben en een lagere valsnelheid vertonen dan de meer bolvormige mestdeeltjes. Dit is dus een specifiek effect dat juist bij pluimvee kan optreden. Voor de grootste deeltjes (Rosenthal et al. gaan slechts tot 25  $\mu\text{m}$ ) is in lijn met de beschreven redenering de correctiefactor geëxtrapoleerd van 0,5 naar 0,3 (Figuur 8). Het gaat hierbij om geschatte waarden bedoeld om de gevoeligheidsanalyse voor het depositiegedrag te kunnen uitvoeren. Figuur 8 is gebaseerd op zo realistisch mogelijke depositiesnelheden, ooit in werkelijkheid bij leghenstallen gemeten. De vorm van de curve is zo gekozen dat deze zo veel mogelijk overeenstemt met de verdelingen van Figuur 3 (rechts). In Figuur 3 (rechts) is immers te zien dat de tweede verdeling van grotere deeltjes pas mee gaat tellen in de totale massafractie vanaf 20 á 25  $\mu\text{m}$ . In de resultaten van Rosenthal et al. gaat de depositiesnelheid al bij iets kleinere deeltjes afwijken (lager worden) van de depositiesnelheid van bolvormige deeltjes. Dat geeft eens te meer aan dat de bandbreedte in berekende concentraties door onzekerheid in het depositiegedrag groot is;

- c. uitkomsten van berekeningen waarbij aangenomen wordt dat deeltjes in het geheel niet uitzakken uit de pluim en dat er in het geheel geen depositie plaatsvindt. Dit is een sterk 'worst case scenario' dat leidt tot een bovengrens van blootstelling die voor omwonenden op verschillende afstanden verwacht kan worden.

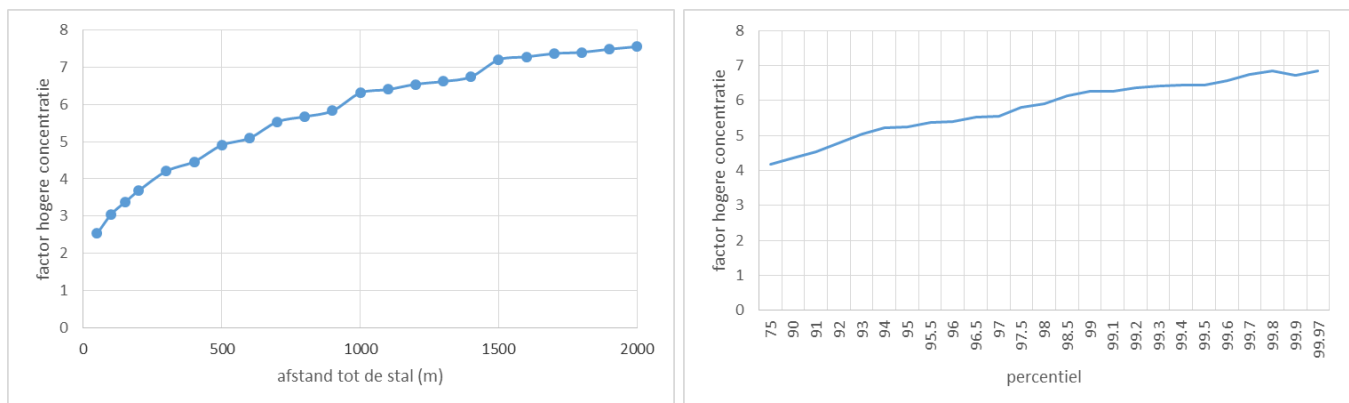
## Resultaten variant b (verlaagde depositie) t.o.v. de basisvariant a

Voor de leghennen worden de percentielwaarden ongeveer 40 á 50% hoger (gemiddeld 43%) indien de lagere depositiesnelheden (dus bepaald met de factoren uit Figuur 8) worden toegepast, gezien over alle afstanden en alle percentielwaarden (90 tot 99,99-percentielen).

Voor de vleeskuikens leidt eenzelfde verlaging van de depositiesnelheden tot gemiddeld 20% hogere concentraties. Een dergelijke verlaging van de depositiesnelheden bij vleeskuikens is echter niet direct op literatuurgegevens gebaseerd. De waarden in Figuur 8 zijn immers alleen voor leghennen afgeleid. De resultaten voor vleeskuikens zijn gegeven ter vergelijking. Voor leghennen is uitgerekend wat in dit geval de afstanden zullen zijn, tot waar nog overschrijding van de norm van 30 EU/m<sup>3</sup> zal optreden: de overschrijdingsafstanden. Dit wordt hierna besproken en in Tabel 14 gepresenteerd.

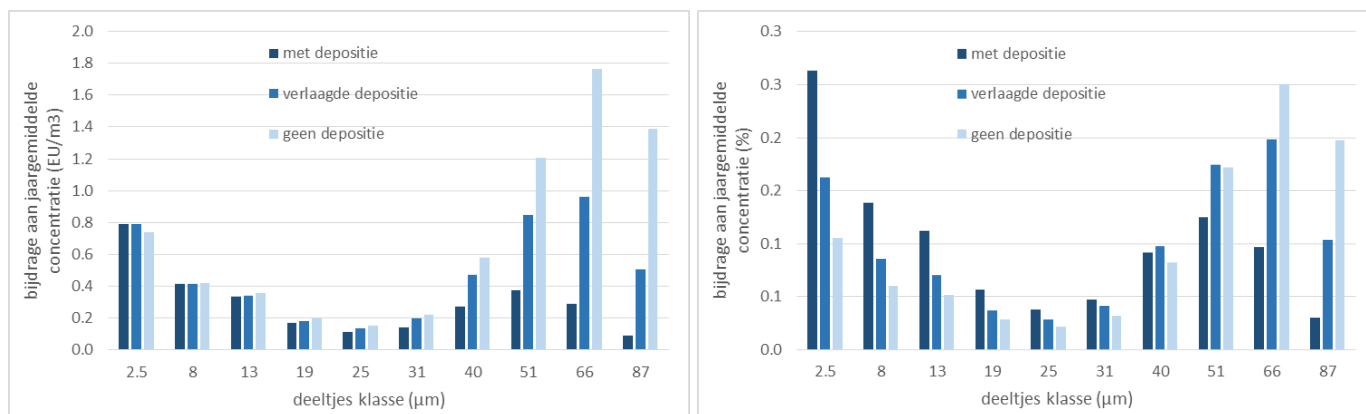
## Resultaten variant c (geen depositie) en b (verlaagde depositie) t.o.v. basisvariant a

Indien het effect van depositie helemaal niet wordt verrekend (variant c) in de endotoxineconcentraties dan nemen de concentraties sterk toe. Voor leghennen nemen de percentielwaarden toe met een factor 2,5 tot 7, afhankelijk van de afstand tot de stal en afhankelijk welk percentiel het betreft. In Figuur 9 (links) is de afhankelijkheid van de afstand gegeven en in Figuur 9 (rechts) de afhankelijkheid van welk percentiel het betreft. Het effect van de depositie is erg groot en bepalend voor het eindresultaat, meer dan de andere beschouwde factoren in dit hoofdstuk (pluimdaling, variatie in endotoxinegehalten, en terreinruwheid). Als we bekijken hoe de bijdragen van de tien deeltjesgrootteklassen zich verhouden in de drie beschouwde varianten (a. depositie, b. verlaagde depositiesnelheden en c. geen depositie verrekend) dan blijkt dat er in deze volgorde een sterke verschuiving optreedt van de bijdragen van kleine deeltjes naar de grotere deeltjes in de blootstelling ter hoogte van omwonenden (Figuur 9). Dat is logisch, immers uit de metingen blijken vooral de grotere deeltjes veel endotoxinen te bevatten. Als de grotere deeltjes door lagere of geen depositie op de grotere afstanden niet zijn verdwenen, dan zijn de concentraties aanzienlijk hoger. Bovendien zien we dat het effect het grootst is op de hoogste percentielen.



Figuur 9. Links: toename (factor) van de endotoxineconcentraties gemiddeld over de percentielen (75 tot 99,99), afhankelijk van de afstand tot de stal (punt 2, Boxtel, leghennen, 125.000 dieren, constante emissie). Rechts: toename (factor) van de endotoxineconcentraties in de range van het 75 tot 99,99 percentiel, gemiddeld over alle afstanden (punt 2, Boxtel, leghennen, 125.000 dieren, constante emissie).





**Figuur 10.** Bijdragen van de tien deeltjesgrootteklassen aan de jaargemiddelde endotoxineconcentraties voor een leghennenstal met 125.000 dieren en een constante emissie, op regio 2 (Boxtel) voor elk van de drie varianten (a. met depositie, b. met verlaagde depositie en c. geen depositie). Links: bijdragen op absolute schaal (EU/m<sup>3</sup>). Rechts: bijdragen op relatieve schaal (%).

In Figuur 10 zijn de afzonderlijke bijdragen van de tien deeltjesgrootteklassen aan de jaargemiddelde endotoxineconcentraties weergegeven. Hierin zijn de waarden gemiddeld over alle afstanden. Het is duidelijk dat de grotere deeltjes een grote bijdrage leveren aan de jaargemiddelde endotoxineconcentraties rondom de stallen. Omdat het effect van depositie groter wordt naarmate de afstand tot de stal toeneemt en in Figuur 10 gemiddelden over alle afstanden gegeven zijn, zullen de effecten van depositie op de grotere afstanden nog groter zijn.

**Tabel 14**

Afstanden vanaf de stal (in meters) tot waar overschrijding van de in de eerste kolom aangegeven norm optreedt, per doorgerkende variant. Merk op dat de norm (voor endotoxine, geur of PM10) met de grootste afstand de kritieke norm is: de norm van deze component wordt tot over de langste afstand vanaf de stal overschreden. Kritieke normen zijn **oranje** gemarkeerd. Een grafische weergave van deze tabel is opgenomen als Bijlage O bij dit rapport.

| Diercategorie:<br>Bedrijfsomvang:<br>Emissiepatroon:<br>Variant: | Leghennen<br>125.000<br>Constant |                       |                  | Vleeskuikens<br>240.000<br>Variabel |                       |                  |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------|
|                                                                  | a.                               | b.                    | c.               | a.                                  | b.                    | c.               |
|                                                                  | (basis)                          | (verlaagde depositie) | (geen depositie) | (basis)                             | (verlaagde depositie) | (geen depositie) |
| End., 98,0-percentiel                                            | 197                              | 285                   | 414              | 221                                 | 313                   | 317              |
| End., 99,0-percentiel                                            | 220                              | 297                   | 487              | 240                                 | 388                   | 407              |
| End., 99,5-percentiel                                            | 235                              | 314                   | 553              | 270                                 | 455                   | 519              |
| End., 99,9-percentiel                                            | 270                              | 342                   | 704              | 298                                 | 688                   | 830              |
| Geur, 98,0-percentiel                                            | 197                              | 197                   | 197              | 247                                 | 247                   | 247              |
| PM10, >35 OVD ‡                                                  | 208                              | 208                   | 208              | 181                                 | 181                   | 181              |

In Tabel 14 zijn de overschrijdingsafstanden weergegeven die zijn berekend voor de twee diercategorieën (125.000 leghennen en 240.000 vleeskuikens) en voor de drie beschouwde varianten van depositie: variant a (de basisuitkomsten zoals beschreven en gerapporteerd in hoofdstuk 5 van dit rapport), variant b (met verlaagde depositie op basis van literatuurgegevens) en variant c (geen depositie). De overschrijdingsafstanden voor endotoxine in Tabel 14 zijn ruwweg een factor twee groter dan de overschrijdingsafstanden voor geur, indien we de lagere depositiewaarden in de berekening toepassen.

Samenvattend is in deze gevoeligheidsanalyse dus gebleken dat de depositiesnelheid van zwaarwegend belang is bij het bepalen van de overschrijdingsafstanden van de endotoxinenorm van 30 EU/m<sup>3</sup>. De depositiesnelheid wordt sterk bepaald door de deeltjesgrootteverdeling welke op dit moment nog onzekerheid omvat door aannames in de berekeningswijze die een bepaalde dichtheid en

---

bepaalde aerodynamische diameter verondersteld, en de hiermee samenhangende endotoxineconcentraties zodat een beter inzicht hiervan van groot belang is.

## 6.2 Invloed van pluimdaling

De modelberekeningen uit hoofdstukken 4 en 5 zijn herhaald zonder rekening te houden met pluimdaling. Het effect hiervan blijkt niet erg groot: in de orde van 5% verlaging van de endotoxineconcentraties voor vleeskuikens en 20 á 25% verlaging van de endotoxineconcentraties voor leghennen. Het is niet erg relevant hoe deze pluimdaling in het model wordt verrekend; de depositie van deeltjes (par. 6.1) is veel belangrijker. NB: De pluimdaling maakt dat de gehele pluim langzamerhand daalt, dus dat de pluimas neerwaarts is gericht. Depositie is het verdwijnen van stoffen uit de pluim terwijl de pluimas gewoon horizontaal kan blijven (zoals dat altijd bij gasen het geval is).

## 6.3 Invloed van variatie in 4-uursgemiddelde waarden

De variatiecoëfficiënt (30%) van 4-uursgemiddelde waarden van de endotoxineconcentraties (binnen een dag of tussen een dag; hiertussen is geen onderscheid gemaakt) is in het verspreidingsmodel als invoerparameter gebruikt. De invloed van de variatie in endotoxineconcentratie op de percentielwaarden is nagegaan door deze variatie op nul te stellen en de berekeningen dan te herhalen. Dit werd toegepast per stal veronderstellend dat de variatie voor meerdere stallen op één bedrijf onafhankelijk is: voor elke stal wordt een (eigen) variatie op de berekende 4-uursgemiddelde waarde gezet. Dat houdt in dat de waarden van 4-uursgemiddelde concentraties voor bedrijven met meer dan één stal bij de veronderstelling van onafhankelijke stalvariatie een kleinere variatie op bedrijfsniveau zullen vertonen, gelijk aan deze 30% gedeeld door de wortel uit het aantal stallen op het bedrijf. Voor leghennen (drie stallen per bedrijf) is het effect van de variatie op de percentielwaarden niet significant: 2 á 3% verschil. Voor vleeskuikens (zes stallen per bedrijf) is het verschil iets groter: rond 5% verlaging van de percentielwaarden indien de variatie niet wordt meegenomen.

## 6.4 Invloed van terreinruwheid

De terreinruwheid is bij berekeningen voor concrete situaties bekend. In dit hoofdstuk gaat het echter om het geven van een indicatie van de invloed van de terreinruwheid op de percentielwaarden. Dit is gedaan door een alternatieve modelberekening uit te voeren met een waarde van 10 cm voor de terreinruwheid i.p.v. de waarde van 30 cm zoals gebruikt in de basisberekeningen in hoofdstukken 4 en 5. Een lagere terreinruwheid leidt tot hogere concentraties omdat minder deeltjes worden afgevangen door gewas. Indicatieve berekeningen bij een terreinruwheid van 10 cm in plaats van 30 cm laten concentraties zien die ongeveer de helft hoger liggen. Voor de geurberekening zal eveneens gelden dat de concentraties hoger zijn bij lagere terreinruwheid, zodat het voor de conclusies ten aanzien van de in hoofdstuk 5 gepresenteerde kritieke normen niet veel zal uitmaken.

---

## DEEL A en B

---

## 7 Discussie

Doel van dit onderzoek is meer kennis te vergaren over emissies van endotoxinen uit stallen en de verwachte endotoxineblootstelling voor omwonenden van stallen. Met deze kennis kan verder vorm en richting worden gegeven aan een toetsingskader voor endotoxine-emissies uit de veehouderij. Daarbij is het van belang om na te gaan of de reeds bestaande toetsingskaders voor uitstoot van fijn stof en geur in voldoende mate bescherming kunnen bieden tegen te hoge endotoxinebelastingen. De eerder in het advies van de Gezondheidsraad voorgestelde voorlopige grenswaarde voor endotoxinen is daarbij als uitgangspunt genomen. Daarbij zij opgemerkt dat dit advies zich beperkt tot een voorlopige grenswaarde, maar niet nader ingaat op een aanvaardbaar frequentie-niveau van overschrijding van deze grenswaarde.

Uitgaande van deze doelstelling zijn de onderzoeksvragen in twee hoofdonderdelen verdeeld. De eerste groep onderzoeksvragen had betrekking op het verkrijgen van kennis van de emissiebron bij de, op basis van vooronderzoek, meest relevant geachte diercategorieën (leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens). Hiervoor zijn bedrijfsmetingen uitgevoerd, zoals gerapporteerd in Deel A van dit rapport. De tweede groep onderzoeksvragen had betrekking op de verspreiding van endotoxinen in de omgeving, en zijn uitgewerkt in deel B. Voor de beantwoording is uitgegaan van verspreidingsmodellering met een hiervoor aangepast STACKS-model, met gebruikmaking van de uit deel A verkregen kennis over endotoxinegehalten in stof en stofemissiefactoren afgeleid uit eerder onderzoek. Voor een aantal fictieve bedrijfsscenario's zijn verspreidingsberekeningen uitgevoerd om de omgevingsbelasting door te rekenen voor endotoxinen, en de hieruit berekende afstandsnormering te vergelijken met de normering die voor fijn stof en geur geldt. Het onderzoek heeft verder als afsluitend doel aan te geven welk vervolgonderzoek gewenst is, gelet op de antwoorden verkregen op bovenstaande vragen.

### *Modelbasis toetsingskader*

In de rapportage van de vorige onderzoeksfase is beargumenteerd dat een op zijn taak toegerust verspreidingsmodel gevoed met emissiefactoren per diercategorie de meest voor de hand liggende benadering is als raamwerk voor een endotoxine-toetsingskader in de veehouderij. Het sluit aan op bestaande toetsingskaders (fijn stof en stof) en maakt daarmee gebruik van de voordelen die dit type toetsingskader kent. De kracht van deze benadering zit in het op een flexibele wijze toepasbaar maken van generieke bron- en verspreidingskennis op afzonderlijke bedrijfslocaties. Voor elke unieke locatie kan op basis van de specifieke bedrijfsgegevens (diercategorie, aantallen, stalsysteem) en de omgevingseigenschappen (meteorologie, landschap) een inschatting van de blootstelling worden gemaakt. Hiermee kan locatie-specifiek een afweging worden gemaakt tussen goede luchtkwaliteit rond stallen en bedrijfseconomische belangen. Bij toetsing van bedrijven op het voldoen aan luchtkwaliteitscriteria vermijdt (kostbaar) onderzoek naar lokale omgevingsbelasting. Het verspreidingsmodel heeft bovendien voordelen boven een generieke zoneringsaanpak, zonder rekening te houden met lokale factoren, met grote ruimtelijke impact op bewoning en veehouderij.

In de kracht van de modelleer-aanpak schuilt tegelijkertijd ook de potentiële zwakte van deze benadering, want de nauwkeurigheid waarmee blootstelling wordt geschat staat of valt met nauwkeurige bronsterkte-informatie en een valide verspreidingsmodel. In dit onderzoek wordt de benadering gebruikt om vast te stellen of bestaande toetsingskaders voor fijn stof en geur voldoende zijn voor het vermijden van te hoge blootstellingsniveaus van endotoxinen in de omgeving. Tegelijkertijd kan dit onderzoek ook als een eerste oefening worden beschouwd richting de ontwikkeling van een toetsingskader voor endotoxine. De nauwkeurigheid van de emissiebron-inschattingen en de nauwkeurigheid en gevoeligheid van invoer-waarden in de verspreidingsmodellering zijn belangrijke aandachtspunten bij de bespreking van de onderzoeksresultaten. In de voorgaande hoofdstukken zijn de resultaten afzonderlijk bediscussieerd. Hoofdstuk 6 bevat reeds een uitgebreide beschouwing van de gevoeligheid van het

---

verspreidingsmodel voor gedane aannames. In de volgende paragrafen zal ingegaan worden op aspecten die het best als samenhang tussen bronuitstoot en verspreiding kunnen worden besproken.

#### *Endotoxinegehalte in stof: gemiddeld niveau*

De endotoxine-verspreiding is in deze studie gemodelleerd aan de hand van verspreiding van stof in combinatie met het endotoxinegehalte in de stof. De resultaten gepresenteerd in Deel A geven aan dat het gemeten endotoxinegehalte van het stalstof bij vleesvarkens beduidend hoger is dan bij de twee pluimveecategorieën (Tabel 5 en Figuur 1). Binnen de pluimveecategorie zijn de gehalten in de leghennenstallen 's nachts het dubbele van de overdag gemeten gehalten. Daarnaast blijkt dat het endotoxinegehalte van de drie bemeten diercategorieën in de fractie van 0–100 µm een factor 2 en meer hoger ligt dan in de fractie kleiner dan 10 µm. Er is dus geen sprake van een stabiel gemiddeld endotoxineniveau over de diercategorieën heen, en ook niet van een stabiel niveau tussen de stoffracties. Dat betekent voor de uitwerking van het toetsingskader dat niet volstaan kan worden met een constant endotoxinegehalte, maar dat detaillering nodig is naar diercategorie en deeltjesgrootteklasse.

De benodigde steekproefomvang voor een betrouwbare inschatting van het endotoxinegehalte is een belangrijk aandachtspunt. De steekproefopzet in dit onderzoek is opgezet als eerste verkenning van de variabiliteit in endotoxine-emissie. Voor het vaststellen van een nauwkeurig gemiddeld niveau is het vooral van belang dat de spreiding gekoppeld aan dominante factoren en variabelen met voldoende waarnemingen in de steekproef wordt vertegenwoordigd. Uit ander onderzoek naar emissies uit de veehouderij is bekend dat daarbij praktisch altijd rekening moet worden gehouden met aanzienlijke spreiding tussen bedrijven met hetzelfde stalsysteem. In dit onderzoek bedraagt de steekproefomvang  $n=2$  wat betreft het aantal bedrijven. Het aantal bedrijfslocaties zal moeten worden verhoogd om tot een meer nauwkeurige broninschatting te komen.

#### *Variatie in endotoxinegehalte: toevalspreiding en structurele spreiding*

Behalve als nauwkeurigheidsmaat voor de gemiddelde niveaus is de spreiding in endotoxine-emissie eveneens van belang voor de vaststelling van de afstanden horende bij percentielwaarden van 98% (en hoger). In Tabel 9 zien we een spreiding 'tussen bedrijven' van het endotoxinegehalte in het stof variërend tussen 11 en 19% voor PM10 en een variatiecoëfficiënt van 30% voor PM100. Op het niveau 'binnen bedrijf' (tussen dag en binnen dag) zijn de variatiecoëfficiënten minstens even groot. Het gaat hier om zogenoemde 'random' of toevalspreiding. Ook hier ontbreekt het nog aan voldoende waarnemingen voor een goede spreidingsmaat. Een vuistregel voor het enigszins nauwkeurig inschatten van spreidingen in verdelingen is een steekproefomvang van minimaal  $n=12$ . In de verspreidingsberekeningen is bij de pluimveebedrijven een variant met variabele emissie doorerekend met 30% spreiding tussen de 4-uurswaarden. Voor de vleeskuikenbedrijven is daarbij verondersteld dat deze spreiding onafhankelijk per stal optreedt. Dit is een aanname waarvoor (nog) geen meetgegevens beschikbaar zijn. Deze aanname vermindert, door de uitmiddeling tussen stallen op een bedrijf, het uiteindelijke effect op de percentielwaarden. Die was met 5% verschuiving dan ook vrij beperkt, maar zal toenemen bij een andere aanname, gebaseerd op tussen stalgebouwen samenhangende spreiding. Daar dient nog aan toegevoegd te worden dat er in de emissievarianten niet gerekend is met tussenbedrijf-spreiding. Het gegeven dat de endotoxine-uitstoot van het ene bedrijf structureel lager of hoger kan zijn dan het overall gemiddelde werpt de vraag op hoe hier mee om te gaan in een toetsingskader. Zowel een goede inschatting van dit type spreiding als de implicatie bij beoordeling vragen nadere aandacht in de uitwerking.

De gegevens gepresenteerd in Figuur 1 (rechts) tonen voor vleeskuikens en vleesvarkens geen wezenlijke verschillen in het endotoxinegehalte in PM100 tussen dag en nacht. Bij leghennen echter, lijkt PM100 tijdens de nacht meer endotoxine te bevatten. In de verspreidingsberekeningen is dit verschil bij het variabele emissiescenario meegenomen. Het relatief hoge endotoxinegehalte in de nacht wordt echter gecombineerd met een relatief lage stofuitstoot in de nacht (10% van het gemiddelde dagniveau), waardoor het grootste deel van de endotoxine overdag wordt uitgestoten bij gemiddeld veel betere verspreidingscondities dan 's nachts. Het variabele emissiescenario leidt daarom t.o.v. constante emissie tot kleinere kritische afstanden voor endotoxine. Dit voorbeeld geeft aan dat het belangrijk is inzicht te hebben in de onderlinge samenhang van spreiding van gehalten en

---

stofmassa, en in de structuur van deze variatie. Structuur in de emissie kan niet alleen positief maar ook negatief uitwerken op de omgevingsbelasting zoals in de volgende paragraaf wordt toegelicht.

#### *Stofemissie: nauwkeurigheid gemiddeld niveau en emissiepatronen*

In de modelberekening is uitgegaan van het product van stofemissie en endotoxinegehalte. De stofemissie is gebaseerd op de huidige emissiefactoren voor fijnstof met een omrekening naar de grotere stoffracties gebaseerd op eerder onderzoek naar fijnstof in de veehouderij (Winkel et al., 2015). Doordat de in deze onderzoeken gehanteerde meetprotocollen zowel de tussenbedrijf (n=4) als binnenbedrijf (n=6) meenamen is de nauwkeurigheid van het gemiddelde emissieniveau al redelijk gewaarborgd, wat niet wegneemt dat ze verder verbeterd kan worden met aanvullende metingen. In het voorliggende onderzoek zijn emissiepatronen rond deze gemiddelde niveaus gemodelleerd op basis van het rapport van Verhees en Erbrink (2013). Het grootste effect van deze emissiepatronen is waarneembaar bij de vleeskuikenstallen waar sprake is van een zaagtandstructuur in de stofemissie die wordt aangestuurd door de opeenvolgende productiecycli met all-in/all-out systeem. Dit patroon heeft een duidelijk negatief effect op de afstanden horende bij de percentielwaarden voor endotoxine (Tabel 13). De in de scenario-berekeningen aangetoonde effecten van emissiepatronen bij leghennen en vleeskuikens maken duidelijk dat deze patronen mee gemodelleerd dienen te worden in het verspreidingsmodel.

#### *Depositiesnelheid: massaverdeling en aerodynamische eigenschappen deeltjes*

Uit de gevoeligheidsanalyse in hoofdstuk 6 blijkt dat de resultaten sterk afhangen van de depositiesnelheid van de deeltjes. Deze snelheid hangt weer af van de verwachte massaverdeling over de deeltjesgrootteklassen. Informatie over de nadere verdeling van de stofmassa binnen de stoffractie 30 tot 100  $\mu\text{m}$  is afwezig omdat er geen meetmethoden voor beschikbaar zijn, wat betekent dat er ook geen literatuurgegevens van bekend zijn. Hetzelfde gebrek aan informatie geldt voor het verloop van het endotoxinegehalte binnen de stoffractie 10 tot 100  $\mu\text{m}$ . Gezien de omvang van de stofmassa boven de diameters 10  $\mu\text{m}$  en 30  $\mu\text{m}$  is een nadere detaillering hier noodzakelijk om de huidige modellering in het model te verifiëren. Met name geldt dit voor leghennenstof waar ca. 40% van de massa zich in de stoffractie 30 tot 100  $\mu\text{m}$  bevindt. Dit betekent dat er meetmethodes moeten worden ontwikkeld met afsnijpunten die in het traject 10 tot 100  $\mu\text{m}$  liggen om verdere detaillering in massaverdeling en endotoxinegehalte mogelijk te maken.

Naast de massaverdeling spelen ook de aerodynamische eigenschappen van de grote deeltjes en soortelijke massa een belangrijke rol bij de depositiesnelheid van grote deeltjes. Voorlopig zijn ze als bolvormig met een gegeven soortelijke massa beschouwd. Hierover is geen informatie uit de onderzoeksliteratuur aanwezig.

#### *Cumulatie*

Er zijn geen situaties doorgerekend met meerdere bronnen in een relatief klein gebied waar cumulatieve effecten op kunnen treden. Dit is relevant omdat in meerdere gebieden in Nederland een aanzienlijk deel van de populatie op afstanden van minder dan 250 meter van meerdere bronnen wonen. In dergelijke situaties kunnen mogelijk ook andere diercategorieën dan pluimvee een overschrijding van kritische endotoxine-grenzen veroorzaken

---

## 8 Conclusies en aanbevelingen

### *Conclusies*

Uit de verkregen onderzoeksresultaten trekken wij de volgende conclusies.

- Het endotoxinegehalte in de stof varieert tussen de diercategorieën, en neemt aanzienlijk toe met deeltjesgrootte. Dit betekent voor de uitwerking van het toetsingskader dat niet volstaan kan worden met een constant endotoxinegehalte in stofemissie, maar dat detaillering van dit gehalte nodig is naar diercategorie en deeltjesgrootteklasse.
- De huidige PM10- en geuremissienormen zijn bij pluimveebedrijven (vleeskuikens en leghennen) niet voldoende beschermend tegen het overschrijden van de gestelde endotoxinegrenswaarde (30 EU/m<sup>3</sup>). Nadere uitwerking van een instrument dat voorziet in aanvullende endotoxine-normering is noodzakelijk om het gewenste beschermingsniveau te kunnen bieden.
- De berekeningen voor vleesvarken bedrijven geven aan dat de geurnormering hier voldoende beschermend lijkt te werken. Dit laat onverlet dat de omgevingsconcentratie op korte afstand van dit type bedrijven wel overschreden kan worden. Daarnaast hebben de berekeningen betrekking op geïsoleerd liggende stallen. In voorkomende situaties kan dit anders uitpakken in geval van meerdere bronnen.
- Er zijn geen situaties doorgerekend met meerdere bronnen in een relatief klein gebied waar cumulatieve effecten op kunnen treden. Dit is relevant omdat in meerdere gebieden in Nederland een aanzienlijk deel van de populatie op afstanden van minder dan 250 meter van meerdere bronnen wonen. In dergelijke situaties kunnen mogelijk ook andere diercategorieën dan pluimvee een overschrijding van kritische endotoxine-grenzen veroorzaken.

### *Aanbevelingen*

Tijdens de analyse van meetresultaten en de definiëring van invulgegevens voor de verspreidingsberekeningen werd duidelijk dat deels ontbrekende en gebrekkige informatie leidt tot onzekerheden in parameters die de uitslag van de gepresenteerde verspreidingsberekeningen aanzienlijk kan beïnvloeden. Bij het uitvoeren van de gepresenteerde berekeningen zijn in het algemeen conservatieve aannames gedaan met een dempend effect op de EU-concentraties in de buitenlucht die verdere onderbouwing en validatie vragen. De volgende aspecten zijn hier van belang:

- De verdeling van de stofconcentraties en endotoxine-gehalten over de verschillende deeltjesgrootteklassen is sterk benaderend ingeschat. De bulk van de inhaleerbare endotoxine-massa zit in de deeltjes met grote diameters (>PM10) en vraagt een nadere detaillering in de 10 tot 100 µm range. Dit vereist dat er geschikte bemonsteringsapparatuur voor deze grote fracties moet worden ontwikkeld.
- De aerodynamische eigenschappen van de grote deeltjes zijn onbekend. Voorlopig zijn ze als bolvormig met een gegeven soortelijke massa beschouwd. Hierover is geen informatie uit de onderzoeksliteratuur aanwezig. Oriënterende berekeningen laten zien dat de verspreidingsresultaten zeer gevoelig voor deze aannames kunnen zijn. Aanvullend onderzoek naar deze eigenschappen is gewenst.
- In de berekeningen is het optreden van structurele tussenbedrijf-verschillen in stofuitstoot en endotoxine-concentratie in de stof niet meegenomen. De informatie over deze variantie-vorm heeft nog onvoldoende omvang om deze goed in te schatten. Deze inschatting is wel nodig om een veiligheidsmarge in te bouwen voor bedrijven die veel meer dan het gemiddelde uitstoten.
- Voor het goed onderbouwen van de endotoxine-emissies waarmee het verspreidingsmodel rekent, zijn aanvullende metingen nodig; zowel voor de in deze studie betrokken

---

diercategorieën (leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens) als voor andere belangrijke diercategorieën, zoals bijvoorbeeld zeugen en melkkoeien.

- Cumulatie van clusters van bedrijven is op veel plaatsen van belang en nog niet onderzocht. Het effect van stapeling door dicht bij woonlocaties gelegen clusters van bedrijven vraagt nader onderzoek.
- Door de keuze van strengere percentielwaarden kan meer bescherming worden geboden tegen het overschrijden van de voorgestelde norm van 30 EU/m<sup>3</sup> omdat daarmee de geaccepteerde overschrijdingstijd door het jaar afneemt. Een strengere percentielwaarde betekent een ruimere zonering rond stallen. Voor de keuze van de te hanteren percentielwaarde is meer kennis van de gezondheidsimpact van endotoxineconcentraties in gebieden met hoge staldichtheid gewenst.



---

# Geciteerde bronnen

- Basinas, I., T. Sigsgaard, H. Kromhout, D. Heederik, I. M. Wouters, and V. Schlünssen. 2013. A comprehensive review of levels and determinants of personal exposure to dust and endotoxin in livestock farming. *J. Expos. Sci. Environ. Epidemiol.* 25(2): 123-137.
- Brunekreef, B., Janssen, N., de Hartog, J., Oldenwening, M., Meliefste, K., Hoek, G., Lanki, T., Timonen, K., Vallius, M., Pekkanen, J., Van Grieken, R., 2005. Personal, Indoor, and Outdoor Exposures to PM<sub>2.5</sub> and its Components for Groups of Cardiovascular Patients in Amsterdam and Helsinki. Research Report (Health Effects Institute), pp. 1–70, discussion 71–79.
- Cambra-López, M., A. J. A. Aarnink, Y. Zhao, S. Calvet, & A. G. Torres. 2010. Airborne particulate matter from livestock production systems: A review of an air pollution problem. *Environmental Pollution* 158(1):1-17.
- Cambra-López, M., A. Winkel, J. Mosquera, N. W. M. Ogink, and A. J. A. Aarnink. 2015. Comparison between light scattering and gravimetric samplers for PM<sub>10</sub> mass concentration in poultry and pig houses. *Atmos. Environ.* 111:20-27.
- CIGR. 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of animal houses. Heat and moisture production at animal and house levels (eds. Pedersen, S. and K. Sällvik). International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), Section II.
- Dusseldorp, A., P. C. C. Sijnesael, D. Heederik, G. Doekes, and A. W. Van de Giessen. 2008. Intensieve veehouderij en gezondheid - Overzicht van kennis over werknemers en omwonenden . RIVM Briefrapport 609300006. Bilthoven, the Netherlands: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu & Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht.
- Fast, T., & R. Nijdam. 2013. Beoordelingskader gezondheid en milieu intensieve veehouderijen . Tilburg: Bureau GMV, GGD'en Brabant/Zeeland.
- Gezondheidsraad, 2010. Endotoxins. Health-based recommended occupational exposure limit. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2010; publication no. 2010/04OSH.
- Gezondheidsraad, 2012. Gezondheidsrisico's rond veehouderijen. Publicatie 2012/27. Den Haag: Gezondheidsraad.
- Heederik, D. J. J., A. J. W. Opstal-van Winden, L. A. M. Smit, I. M. Wouters, M. Hooiveld, C. J. IJzermans, F. van der Sman-de Beer, P. P. M. Spreeuwenberg, A. de Bruin, and B. van Rotterdam. 2011. Mogelijke effecten van intensieve-veehouderij op de gezondheid van omwonenden: onderzoek naar potentiële blootstelling en gezondheidsproblemen. Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS), Universiteit Utrecht; Nederlands instituut voor onderzoek van de gezondheidszorg (NIVEL); Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Utrecht, the Netherlands.
- Infomil, 1998. Nieuw Nationaal Model: Verslag van het onderzoek van de projectgroep Revisie Nieuw Nationaal Model. Infomil, 1998.
- Jones, W., K. Moring, S. A. Olenchock, T. Williams, and J. Hickey. 1984. Environmental study of poultry confinement buildings. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 45(11):760-766.
- Kiryuchuk, S. P., S. J. Reynolds, N. K. Koehncke, J. Lawson, P. Willson, A. Senthilselvan, D. Marciniuk, H. L. Classen, T. Crowe, N. Just, D. Schneberger, and J. A. Dosman. 2010. Endotoxin and dust at respirable and nonrespirable particle sizes are not consistent between cage- and floor-housed poultry operations. *Ann. Occup. Hyg.* 54(7):824-832.
- Kornalijslijper, J. E., J. C. Rahamat-Langendoen, and Y. T. H. P. Van Duynhoven. 2008. Volksgezondheidsaspecten van veehouderij - megabedrijven in Nederland - Zoönosen en antibioticumresistentie. RIVM Briefrapport 215011002. Bilthoven, the Netherlands: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Lai, H. T. L., A. J. A. Aarnink, M. Cambra-López, T. T. T. Huynh, H. K. Parmentier, and P. W. G. Groot Koerkamp. 2014. Size distribution of airborne particles in animal houses. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 16(3):28-42.
- NEN-EN 14031. Werkplekatmosfeer - Meting van in de lucht aanwezige endotoxine. 2003. NNI, Delft
- Maassen, C. B. M., E. Van Duijkeren, Y. T. H. P. Van Duynhoven, A. Dusseldorp, P. Geenen, A. A. De Koeijer, M. P. G. Koopmans, F. Loos, W. F. Jacobs-Reitsma, R. De Jonge, and A. W. Van de Giessen. 2012. Infectierisico's van de veehouderij voor omwonenden [Risk of infections from livestock farming for people living nearby; in Dutch, with English abstract] . RIVM Report 609400004. Bilthoven, the Netherlands: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Ogink, N. W. M., M. M. de Ruiter, P. W. G. G. Koerkamp, and C. E. van't Klooster. 1997. Emissions of dust and endotoxins from swine house buildings. In: Proceedings of the 1997 ASAE Annual International Meeting. Part 1 (of 3). August 10-14, 1997. Minneapolis, MN, USA: ASAE.
- TNO-MEP. 1998. Paarse boekje. Projectgroep Revisie Nationaal Model. Het Nieuwe Nationaal Model, model voor de verspreiding van luchtverontreiniging uit bronnen over korte afstanden. Apeldoorn: TNO-MEP.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, H. Joergensen, A. Chwalibog, A. Haeussermann, M. J. W. Heetkamp, and A. J. A. Aarnink. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: a literature review (Manuscript BC 08 008). *Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal* X.
- Rosenthal, E., Schneider, T., Büscher, W. and B. Diekmann, 2007. Sedimentation of Animal-specific Dust Particles in Livestock Houses. 62 *LANDTECHNIK* 2/2007. Pp 102, 103

- 
- Schinasi, L., R. A. Horton, V. T. Guidry, S. Wing, S. W. Marshall, and K. B. Morland. 2011. Air pollution, lung function, and physical symptoms in communities near concentrated swine feeding operations. *Epidemiology* 22(2):208-215.
- Seedorf, J., J. Hartung, M. Schröder, K. H. Linkert, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, S. Pedersen, H. Takai, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. Groot Koerkamp, G. H. Uenk, and C. M. Wathes. 1998b. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70(1):97-109.
- Spaan, S, G. Doekes, D. Heederik, P.S. Thorne and I.M. Wouters, 2008. Effect of extraction and assay media on analysis of airborne endotoxin. *Appl Environ Microbiol.* 2008 Jun;74(12):3804-11
- Verhees, L., & H. Erbrink. 2013. Effect van tijdsafhankelijke warmte- en stofemissies op de berekende PM10, geur en NH3 concentraties. DNV-KEMA rapport 74102439-CES/ECS 13-2539. Arnhem, the Netherlands: DNV-KEMA.
- WHO, 2014. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/> , benaderd februari 2016.
- Winkel, A., I. M. Wouters, A. J. A. Aarnink, H. D. J. J., & N. W. M. Ogink. 2014. Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: een literatuurstudie voor ontwikkeling van een toetsingskader. Rapport 773. Lelystad, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre, Livestock Research.
- Winkel, A., J. Mosquera, P. W. G. Groot Koerkamp, N. W. M. Ogink, & A. J. A. Aarnink. 2015. Emissions of particulate matter from animal houses in the Netherlands. *Atmospheric Environment* 111:202-212.

# Bijlage A: beschrijving en foto's stallocaties

## Bijlage A1: leghennenstal 1

| Kenmerk                                                   | Beschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Stal</i>                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Bouwjaar                                                  | 2010                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Rav code en omschrijving                                  | E 2.11.4 volièrehuisvesting, 55-60 % van de leefruimte roosters met daaronder een mestband met 0,7 m <sup>3</sup> per dier per uur mestbeluchting. Mestbanden minimaal eenmaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages (BWL 2005.05.V1)                                                                                                                                                                                                                             |
| Emissiefactoren                                           | Emissie PM10: 65 g/dierplaats per jaar<br>Emissie ammoniak: 0,037 kg/dierplaats per jaar<br>Emissie geur: 0,34 OU <sub>E</sub> /dierplaats per seconde                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Afmetingen (l × b × h <sub>goot</sub> /h <sub>nok</sub> ) | 50,6 x 16,0 x 3,25 x 6,4 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Oriëntatie van de stal                                    | WZW (voorgevel) – ONO (achtergevel met ventilatoren)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Dieren</i>                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Aantal hennen bij opzet                                   | Ca. 12.125                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Bezettingsgraad bij opzet                                 | Ca. 18 kippen per m <sup>2</sup> strooiselvloeroppervlak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Merk hen                                                  | NOVOgen Brown Classic                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <i>Klimaatregeling</i>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Beschrijving luchtinlaat                                  | Via mestbandbeluchting: 0,7 m <sup>3</sup> /uur per hen (bron: stallucht en/of buitenlucht via luchtmengkast) + 22 inlaatventielen per zijgevel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Beschrijving luchtuitlaat                                 | Lengteventilatie met ventilatoren in de eindgevel:<br>3 v-snaarventilatoren (1 aan/uit- en 2 frequentiegeregeld), Ø 120 cm, elk max. ca. 42.000 m <sup>3</sup> /uur (bij 10 Pa)<br>Totaal: ca. 126.000 m <sup>3</sup> /uur (ca. 10,4 m <sup>3</sup> /uur per hen)                                                                                                                                                                                                                |
| Ventilatieregeling                                        | Op basis van staltemperatuur en onderdruk                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Streef temperatuur                                        | Ca. 19–20 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Verwarmingssysteem                                        | Geen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Bedrijfsvoering</i>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Beschrijving houderijsysteem                              | Volièrehuisvesting in 4 systeemrijen, 2 strooiselgangen en 3 kip- en strooiselvrije gangpaden. Het systeem is 21 secties van elk 2,41 m lang (systeemplengte: ca. 50,6 m). De stellingen zijn aan de voorzijde voorzien van scharnierende roosters/spijlen: de roosters van leefniveaus 2 en 3 zijn doorgaans gesloten. De kippen worden elke nacht automatisch vastgezet in het systeem door de roosters van het onderste leefniveau te sluiten. Deze gaan rond 10:00 weer open |
| Beschrijving voersysteem                                  | Voerkettingen door het volièresysteem: twee circuits per systeemrij.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Voertijden                                                | Voertijden: vijf- tot zesmaal per dag, verspreid over de lichtperiode                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Voer                                                      | Legmeel 1, 2 en 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Beschrijving drinkwatersysteem                            | Waterlijnen met drinknippels en lekschoteltjes: twee lijnen per systeemrij                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Drinktijden                                               | tijdens lichttijden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Strooiselmanagement                                       | De stal wordt ingestrooid met een kleine hoeveelheid koolzaadstro. Dit is na enkele weken geheel verdwenen. Gedurende de legperiode wordt één- of tweemaal per week een kruiwagen snijmaïs over het strooisel verspreid als ruwvoer. Verder wordt incidenteel strooisel uitgereden met een zitmaaier met strooiselschuif                                                                                                                                                         |
| Beschrijving verlichting                                  | Lichtstraten in de zijgevels en hoogfrequente TL-armaturen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Lichtregime                                               | 15L:9D, licht aan van 04:00–19:00 uur (wintertijd)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Schoonmaakregime                                          | Na ruimen van de kippen wordt de strooiselmest verwijderd en de stal nat gereinigd                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <i>Productiecyclus</i>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Leeftijd bij opzet                                        | Ca. 18 weken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Leeftijd bij ruimen                                       | Ca. 80 weken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Leegstand tussen koppels                                  | Ca. 2 weken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |



Positionering van de stal in de omgeving



Zijgevel met inlaatventielen onder winddrukcap



Achtergevel met drie ventilatoren



Ruimte tussen het einde van een systeemrij en de achtergevel. In de zijgevel is de lichtstraat en een inlaatventiel zichtbaar



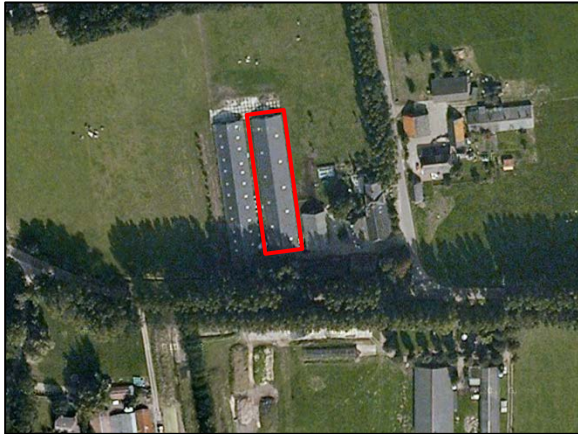
Volièresysteem en strooiselvloer. Zichtbaar zijn de gesloten roosters van leefniveaus 2 en 3 en het geopende rooster van het onderste leefniveau



## Bijlage A2: leghennenstal 2

| Kenmerk                                                   | Beschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Stal</i>                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Bouwjaar                                                  | 1997                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Rav code en omschrijving                                  | E 2.11.3 Volièrehuisvesting, 30-35 % van de leefruimte roosters met daaronder een mestband met 0,7 m <sup>3</sup> per dier per uur mestbeluchting. Mestbanden minimaal eenmaal per week afdraaien. Roosters minimaal in twee etages. (BWL 2005.04.V1)                                                                                                                                             |
| Emissiefactoren                                           | Emissie PM10: 65 g/dierplaats per jaar<br>Emissie ammoniak: 0,025 kg/dierplaats per jaar<br>Emissie geur: 0,34 OUE/dierplaats per seconde                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Afmetingen (l × b × h <sub>goot</sub> /h <sub>nok</sub> ) | 74 × 16,0 × 2,3 × 5,5 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Oriëntatie van de stal                                    | ZZO (voorgevel) – NNW (achtergevel met ventilatoren)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>Dieren</i>                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Aantal hennen bij opzet                                   | Ca. 17.460                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Bezettingsgraad bij opzet                                 | Ca. 17 kippen per m <sup>2</sup> strooiselvloeroppervlak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Merk hen                                                  | NOVOgen Brown Light                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <i>Klimaatregeling</i>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Beschrijving luchtinlaat                                  | Via mestbandbeluchting: 0,7 m <sup>3</sup> /uur per hen (bron: stallucht; 3,5 uur per dag) + 45 inlaatventielen per zijgevel                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Beschrijving luchtuitlaat                                 | Lengteventilatie met 5 ventilatoren in de eindgevel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 kleine v-snaarventilatoren (aan/uit-geregeld), Ø 91 cm, elk max. ca. 13.000 m<sup>3</sup>/uur</li> <li>• 3 grote v-snaarventilatoren (aan/uit-geregeld), Ø 138 cm, elk max. ca. 44.000 m<sup>3</sup>/uur</li> </ul> Totaal: ca. 158.000 m <sup>3</sup> /uur (ca. 9,0 m <sup>3</sup> /uur per hen) |
| Ventilatieregeling                                        | Op basis van staltemperatuur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Streeftemperatuur                                         | Ca. 19 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Verwarmingssysteem                                        | Geen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>Bedrijfsvoering</i>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Beschrijving houderijsysteem                              | Volièrehuisvesting in 3 systeemrijen (systeemplengte: 66 m) en 4 strooiselgangen. De stellingen hebben 3 leefniveaus (rooster met mestband / rij buitenbandnesten / rooster met mestband) en zitstokken daarboven. De mestbanden zijn uitgerust met beluchting. Mestbanden worden om de 5 dagen afgedraaid naar een overdekte opslag                                                              |
| Beschrijving voersysteem                                  | Voerkettingen door het volièresysteem: respectievelijk 2, 3 en 2 circuits per stelling                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Voertijden                                                | Voertijden: 09:00, 13:00, 14:00 en 19:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Voer                                                      | Legmeel 1 (16,0% Re / 5,5% Rv / 4,8% Rcs / 12,4% Ras), later legmeel 2 en 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Beschrijving drinkwatersysteem                            | Waterlijnen met drinknippels en lekschoteltjes: 3 lijnen per systeemrij (2 langs de nesten, 1 op onderste leefniveau)                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Drinktijden                                               | Van 30 min voor tot 30 min na de lichtperiode                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Strooiselmanagement                                       | De stal wordt ingestrooid met een kleine hoeveelheid koolzaadstro. Dit is na enkele weken geheel verdwenen. Er wordt niet bijgestrooid. Gedurende de legperiode wordt wekelijks één van de vier strooiselgangen deels uitgescheept op de onderste mestband en uit de stal verwijderd                                                                                                              |
| Beschrijving verlichting                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 Transparante golfplaten in dak met schuiven; 15 cm geopend tijdens daglichtperiode</li> <li>• Rij witte + rode PL-lampen boven elke strooiselgang</li> <li>• Rij witte PL-lampen in onderste leefniveau volièresstelling</li> </ul>                                                                                                                   |
| Lichtregime                                               | 15L:9D, licht aan van 05:00–20:00 uur (wintertijd)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Schoonmaakregime                                          | Na ruimen van de kippen wordt de strooiselmest verwijderd met een shoveltje en de stal schoon geblazen                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <i>Productiecyclus</i>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Leeftijd bij opzet                                        | Ca. 18 weken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Leeftijd bij ruimen                                       | Ca. 80 tot 82 weken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Leegstand tussen koppels                                  | Ca. 3 weken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |





Positionering van de stal in de omgeving



Voorgevel en rechter zijgevel



Achtergevel met twee 'stofbakken' op de plaatsen waar ventilatoren in de gevel zitten



Zijgevel met inlaatventielen, plafond met PL-lampen, strooiselvloer en volièrestelling



Ruimte tussen het einde van de systeemrijen en de achtergevel



Binnenaanzicht van de eindgevel met vijf in de afbeelding genummerde v-snaarventilatoren

## Bijlage A3: vleeskuikenstal 1

| Kenmerk                                                   | Beschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Stal</i>                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Bouwjaar                                                  | 2006                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Rav code en omschrijving                                  | E 5.10 vleeskuikenstal met verwarmingssysteem met warmteheaters en ventilatoren (BWL 2009.14.V3) 11                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Emissiefactoren                                           | Emissie PM10: 22 g/dierplaats per jaar<br>Emissie ammoniak: 0,035 kg/dierplaats per jaar<br>Emissie geur: 0,24 OU <sub>E</sub> /dierplaats per seconde                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Afmetingen (l × b × h <sub>goot</sub> /h <sub>nok</sub> ) | 100 x 22 x 2,8 x 5,8 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Oriëntatie van de stal                                    | NW (voorgevel) – ZO (achtergevel met ventilatoren)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Dieren</i>                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Aantal kuikens bij opzet                                  | Ca. 44.500                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Bezettingsgraad bij opzet                                 | Ca. 22,5 kuikens per m <sup>2</sup> strooiselvloeroppervlak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Merk kuiken                                               | Ross 308                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <i>Klimaatregeling</i>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Beschrijving luchtinlaat                                  | Via inlaatventielen in zij- en voorgevels                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Beschrijving luchtuitlaat                                 | Lengteventilatie met 14 ventilatoren in de eindgevel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 grote drukventilatoren (aan/uit-geregeld), Ø 130 cm, elk max. ca. 35.000 m<sup>3</sup>/uur</li> <li>• 6 grote v-snaarventilator (aan/uit-geregeld), Ø 130 cm, elk max. ca. 35.000 m<sup>3</sup>/uur</li> <li>• 2 kleine v-snaarventilatoren (frequentie-geregeld), Ø 100 cm, elk max. ca. 25.000 m<sup>3</sup>/uur</li> </ul> |
| Ventilatieregeling                                        | Totale ventilatiecapaciteit: ca. 470.000 m <sup>3</sup> /uur (ca. 10,6 m <sup>3</sup> /uur per kuiken)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Temperatuurinstellingen                                   | Op basis van staltemperatuur en onderdruk<br>Dag 0: ca. 33–34 °C<br>Dag 7: ca. 29,5 °C<br>Dag 14: ca. 28 °C<br>Dag 21: ca. 26 °C<br>Dag 28: ca. 24 °C<br>Dag 35: ca. 22 °C<br>Daarna tussen 18 en 22 °C, afhankelijk van de buitentemperatuur                                                                                                                                                                                  |
| Verwarmingssysteem                                        | 5 indirect gestookte warmteheaters (op houtkachel)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Bedrijfsvoering</i>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Beschrijving houderijsysteem                              | Grondhuisvesting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Beschrijving voersysteem                                  | 5 voerlijnen met voerpannen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Voertijden                                                | Onbeperkt tijdens ca. 22 uur per dag waarna de pannen leeggegeten worden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Voer                                                      | Vleeskuikenvoer in vier fasen:<br>Start (kruimel): 20,2% Re / 4,5% Rv / 2,7% Rcs / 5,7% Ras<br>Groeï A (kruimel): 20,7% Re / 6,0% Rv / 3,0% Rcs / 6,0% Ras<br>Groeï B (korrel): 19,2% Re / 6,5% Rv / 3,3% Rcs / 4,9% Ras<br>Afmest (korrel): 19,0% Re / 6,1% Rv / 3,4% Rcs / 4,2% Ras                                                                                                                                          |
| Beschrijving drinkwatersysteem                            | 8 drinklijnen met nippels met lekschotelletjes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Drinktijden                                               | Onbeperkt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Strooiselmanagement                                       | De stal wordt ingestrooid met houtkrullen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Beschrijving verlichting                                  | Armaturen met natriumhogedruklampen in de nok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Lichtregime                                               | Dag 0 t/m 7: 24L:0D<br>Dag 8 t/m 37: 9L:4D:9L:2D<br>Dag 37 t/m 42: 24L:0D                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Schoonmaakregime                                          | Na elke ronde vindt reiniging plaats in 6 stappen:<br>1) schoonblazen heaters en voerbakken, 2) verwijderen mest met een verreiker, 3) inweken vloer en plafond, 4) inzepen voer-/waterlijnen, 5) schoonspuiten, 6) ontsmetting                                                                                                                                                                                                |
| <i>Productiecyclus</i>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Leeftijd en gewicht bij ruimen                            | Op dag 33/34 wordt 22–25% van de kuikens uitgeladen tot 39,5 kg/m <sup>2</sup> . Wegladen: op 37–42 dagen leeftijd en ca. 2200 gram                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Leegstand tussen koppels                                  | Ca. 1 week                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |





Positionering van de stal in de omgeving



Voorgevel en rechter zijgevel met inlaatventielen achter de winddrukkappen



Achtergevel met (v.l.n.r.): een toegangsdeur, een (schuin oplopende) stofbak met één zichtbare ventilator, doorgang naar de roldeur, en een tweede stofbak met ventilatoren



Overzichtsfoto van de stal met hogedruknatriumlampen in de nok, warmteheaters en voer- en drinklijnen



Detailfoto van de inlaatventielen in de zijgevel: witte standaard ventielen en oranjebruine zomerventielen voor extra inlaat



Binnenaanzicht van de achtergevel met (v.l.n.r.): 7 ventilatoren, een roldeur, 7 ventilatoren en een toegangsdeur



## Bijlage A4: vleeskuikenstal 2

| Kenmerk                                                   | Beschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Stal</b>                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Bouwjaar                                                  | 1991                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Rav code en omschrijving                                  | E 5.10 vleeskuikenstal met verwarmingssysteem met warmteheaters en ventilatoren (BWL 2009.14.V3) 11                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Emissiefactoren                                           | Emissie PM10: 22 g/dierplaats per jaar<br>Emissie ammoniak: 0,035 kg/dierplaats per jaar<br>Emissie geur: 0,24 OU <sub>E</sub> /dierplaats per seconde                                                                                                                                                                                                                                          |
| Afmetingen (l × b × h <sub>goot</sub> /h <sub>nok</sub> ) | 65 x 12 x 2,5/4,5 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Oriëntatie van de stal                                    | NW (voorgevel) – ZO (achtergevel met ventilatoren)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Dieren</b>                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Aantal kuikens bij opzet                                  | Ca. 13.500                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Bezettingsgraad bij opzet                                 | Ca. 17.3 kuikens per m <sup>2</sup> strooiselvloeroppervlak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Merk kuiken                                               | Ross 308                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Klimaatregeling</b>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Beschrijving luchtinlaat                                  | 37 Inlaatventielen per zijwand; 74 in totaal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Beschrijving luchtuitlaat                                 | Lengteventilatie met 6 ventilatoren in de eindgevel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 drukventilatoren (aan/uit-geregeld), Ø 130 cm, elk max. ca. 34.740 m<sup>3</sup>/uur</li> <li>• 1 v-snaarventilator (aan/uit-geregeld), Ø 95 cm, elk max. ca. 12.160 m<sup>3</sup>/uur</li> <li>• 3 ventilatoren (frequentie-geregeld), Ø 53 cm, elk max. ca. 7120 m<sup>3</sup>/uur</li> </ul> |
| Ventilatieregeling                                        | Totale ventilatiecapaciteit: ca. 103.000 m <sup>3</sup> /uur (ca. 7.6 m <sup>3</sup> /uur per kuiken)                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Temperatuurinstellingen                                   | Op basis van staltemperatuur<br>Dag 0: ca. 33–34 °C<br>Dag 7: ca. 29,5 °C<br>Dag 14: ca. 28 °C<br>Dag 21: ca. 26 °C<br>Dag 28: ca. 24 °C<br>Dag 35: ca. 22 °C<br>Daarna tussen 18 en 22 °C, afhankelijk van de buitentemperatuur                                                                                                                                                                |
| Verwarmingssysteem                                        | 2 indirect gestookte warmteheaters                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Bedrijfsvoering</b>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Beschrijving houderijsysteem                              | Grondhuisvesting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Beschrijving voersysteem                                  | 3 voerlijnen met voerpannen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Voertijden                                                | Onbeperkt tijdens ca. 22 uur per dag waarna de pannen leeggegeten worden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Voer                                                      | Vleeskuikenvoer in vier fasen:<br>Start (kruimel): 20,2% Re / 4,5% Rv / 2,7% Rcs / 5,7% Ras<br>Groei A (kruimel): 20,7% Re / 6,0% Rv / 3,0% Rcs / 6,0% Ras<br>Groei B (korrel): 19,2% Re / 6,5% Rv / 3,3% Rcs / 4,9% Ras<br>Afmest (korrel): 19,0% Re / 6,1% Rv / 3,4% Rcs / 4,2% Ras                                                                                                           |
| Beschrijving drinkwatersysteem                            | 4 drinklijnen met nippels met lekschoteltjes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Drinktijden                                               | Onbeperkt (tijdens donkerperioden uit)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Strooiselmanagement                                       | De stal wordt ingestrooid met houtkrullen of turf                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Beschrijving verlichting                                  | Armaturen met hoogfrequent TL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Lichtregime                                               | 10L:2D:8L:4D                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Schoonmaakregime                                          | Na elke ronde vindt reiniging plaats in 6 stappen:<br>1) verwijderen mest, 2) schoonspoelen/inweken met water, 3) inweken met zeep, 4) inzepen voer-/waterlijnen, 5) schoonspuiten, 6) ontsmetten met formaldehyde                                                                                                                                                                              |
| <b>Productiecyclus</b>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Leeftijd en gewicht bij ruimen                            | Op dag 34 wordt circa 25% van de kuikens uitgeladen.<br>Wegladen: op 37–38 dagen leeftijd en ca. 2200 gram                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Leegstand tussen koppels                                  | Ca. 1 week                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |



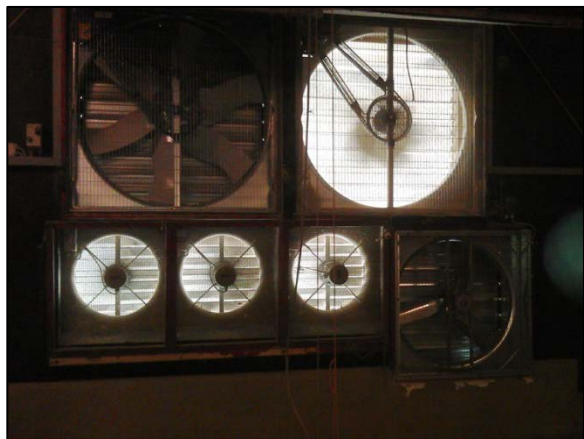
Positionering van de stal in de omgeving



Linker zijgevel



Achtergevel met lichtkap en een toegangsdeur



Binnenaanzicht achtergevel met ventilatoren



Binnenaanzicht van de stal met inlaatventielen in de zijgevel



Eén van de twee indirect gestookte warmteheaters

## Bijlage A5: vleesvarkenstal 1

| Kenmerk                                                        | Beschrijving                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Stal</i>                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Bouwjaar                                                       | 2007                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Rav code en omschrijving                                       | D 3.2.11.2 Vleesvarkens, hok met gescheiden mestkanalen, hokoppervlak groter dan 0,8 m <sup>2</sup> (BWL 2001.03)                                                                                                                                                               |
| Emissiefactoren                                                | Emissie PM10: 153 g/dierplaats per jaar<br>Emissie ammoniak: 2,5 kg/dierplaats per jaar<br>Emissie geur: 23 OU <sub>E</sub> /dierplaats per seconde                                                                                                                             |
| Oriëntatie van de stal                                         | NO (voorgevel) – ZW (achtergevel)                                                                                                                                                                                                                                               |
| Aantal afdelingen                                              | 6                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Aantal dierplaatsen                                            | 576                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Afdeling</i>                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Afmetingen afd. (l × b × h <sub>goot</sub> /h <sub>nok</sub> ) | 9,6 × 11 × 2 × 4                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Aantal hokken                                                  | 8 (4 aan elke zijde van de voergang)                                                                                                                                                                                                                                            |
| Aantal dierplaatsen                                            | 96 (12 dierplaatsen per hok)                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Hokoppervlak                                                   | 12 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Oppervlak per dier                                             | 1,0 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Beschrijving vloer                                             | Bolle, dichte vloer (60%) en betonroosters (40%) boven het waterkanaal (voorzijde hok) en het mestkanaal (achterzijde hok)                                                                                                                                                      |
| Beschrijving kelder                                            | Aparte kelders onder de roosters, met schuine wand en aflatstop/rioleringsbuis naar naastgelegen stal                                                                                                                                                                           |
| Diepte kelder                                                  | 0,6 m                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Frequentie mestafvoer                                          | Circa eens per twee maanden                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <i>Klimaatregeling</i>                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Beschrijving luchtinlaat                                       | Kanaalventilatie: inlaat in de zijgevel, via de spouw door de kelder onder de bolle vloer en via de roostervloer van de voergang de afdeling in                                                                                                                                 |
| Beschrijving luchtuitlaat                                      | Mechanisch, via twee ventilatoren in de achtergevel, aan het einde van het centrale luchtkanaal onder de nok, met één ventilatiekoker tussen elke afdeling en het centrale luchtkanaal voorzien van smookkleppen en meetventilator                                              |
| Verwarmingssysteem                                             | Geen                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <i>Bedrijfsvoering</i>                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Beschrijving voersysteem                                       | Droogvoerbakken                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Voertijden                                                     | 03:00 uur, de eerste twee maanden onbeperkt, daarna beperkt                                                                                                                                                                                                                     |
| Type voer                                                      | Droogvoer in vier leeftijdsfasen:<br>Fase 1: 17,3% Re / 5,2% Rv / 4,1% Rcs / 4,7% Ras<br>Fase 2: 16,5% Re / 5,1% Rv / 4,5% Rcs / 4,8% Ras<br>Fase 3: 16,0% Re / 4,5% Rv / 4,5% Rcs / 4,3% Ras<br>Fase 4: 14,8% Re / 3,8% Rv / 5,3% Rcs / 3,9% Ras<br>(Procenten per kg product) |
| Beschrijving drinkwatersysteem                                 | Drinknippel in de droogvoerbak                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Drinktijden                                                    | Onbeperkt                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Beschrijving verlichting                                       | Twee ramen (alleen noordzijde) en 4 TL-armaturen per afd.                                                                                                                                                                                                                       |
| Lichtregime                                                    | Daglicht (zuidzijde) en continu licht van 1 TL-armatuur (noordzijde). Bij werkzaamheden/controlerondes gaan alle lampen aan                                                                                                                                                     |
| Schoonmaakregime                                               | Eens per jaar nat, daartussen droog (wegscheppen, vegen) waarna de vloer wordt ingestrooid met houtkrullen                                                                                                                                                                      |
| <i>Productiecyclus</i>                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Gewichtstraject                                                | 23 (opleg) tot ca. 120 kg (afleveren)                                                                                                                                                                                                                                           |
| Leegstand tussen rondes                                        | 3 dagen                                                                                                                                                                                                                                                                         |





Positionering van de stal in de omgeving



Voorgevel en rechter zijgevel van de stal. De luchtinlaat bevindt zich achter het groene doek in de zijgevel



Achtergevel met twee ventilatoren aan het einde van het centrale luchtkanaal



Het centrale luchtkanaal in de nok van het gebouw



Overzichtsfoto van een afdeling met acht hokken, met de luchtinlaat via betonroostervloer van de voergang en de luchtuitlaat via de koker met meetventilator en smoorkleppen boven de deur, naar het centrale luchtkanaal



Detailfoto van één van de hokken, met (van voor naar achter): een waterkanaal met betonroosters, een bolle vloer en een mestkanaal met betonroosters. Aan de rechter hokafscheiding zijn zichtbaar: een speelbal, een strokoker en een droogvoerbak met drinknippel

## Bijlage A6: vleesvarkenstal 2

| Kenmerk                                         | Beschrijving                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Stal</i>                                     |                                                                                                                                                                                                                          |
| Bouwjaar                                        | 1997                                                                                                                                                                                                                     |
| Rav code en omschrijving                        | D 3.2.11.1 Vleesvarkens, hok met gescheiden mestkanalen, hokoppervlak maximaal 0,8 m <sup>2</sup> (BWL 2001.02)                                                                                                          |
| Emissiefactoren                                 | Emissie PM10: 153 g/dierplaats per jaar<br>Emissie ammoniak: 1,8 kg/dierplaats per jaar<br>Emissie geur: 23 OU <sub>E</sub> /dierplaats per seconde                                                                      |
| Oriëntatie van de stal                          | OZO (voorgevel) – WNW (achtergevel)                                                                                                                                                                                      |
| Aantal afdelingen                               | 9 + een ziekenboeg                                                                                                                                                                                                       |
| Aantal dierplaatsen                             | 648                                                                                                                                                                                                                      |
| <i>Afdeling</i>                                 |                                                                                                                                                                                                                          |
| Afmetingen afd. (l × b × h <sub>plafond</sub> ) | 7 × 10 × 2,4                                                                                                                                                                                                             |
| Aantal hokken                                   | 8 (4 aan elke zijde van de voergang)                                                                                                                                                                                     |
| Aantal dierplaatsen                             | 72 (9 dierplaatsen per hok)                                                                                                                                                                                              |
| Hokoppervlak                                    | 8 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                         |
| Oppervlak per dier                              | 0,8 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                       |
| Beschrijving vloer                              | Bolle, dichte vloer (60%) met betonroosters (40%) boven een waterkanaal (voorzijde hok) en metalen roosters boven een mestkanaal (achterzijde hok)                                                                       |
| Beschrijving kelder                             | Aparte kelders onder de roosters, met rechte wanden, met aflaatstop en afvoerbuis naar centrale mestkanaal onder centrale gang                                                                                           |
| Diepte kelder                                   | 0,5 m                                                                                                                                                                                                                    |
| Frequentie mestafvoer                           | Ca. eens per maand (driemaal per ronde)                                                                                                                                                                                  |
| <i>Klimaatregeling</i>                          |                                                                                                                                                                                                                          |
| Beschrijving luchtinlaat                        | Plafondventilatie: de frisse lucht stroomt de afdeling binnen via een open strook over de gehele lengte van de voergang                                                                                                  |
| Beschrijving luchtuitlaat                       | Mechanisch, via 3 ventilatorkokers (Ø 80 cm) door het dak, in het midden van het centrale luchtkanaal onder de nok, met twee afzuigpunten in elke afdeling voorzien van smoorklep en meetventilator                      |
| Verwarmingssysteem                              | Vloerverwarming (rondpompen warmte van oudere dieren + inschakeling CV-ketel in de winter)                                                                                                                               |
| <i>Bedrijfsvoering</i>                          |                                                                                                                                                                                                                          |
| Beschrijving voersysteem                        | Brijvoergoten                                                                                                                                                                                                            |
| Voertijden                                      | 05:00, 12:00 en 20:00                                                                                                                                                                                                    |
| Type voer                                       | Brijvoer in drie leeftijdsfasen:<br>0–3 wk: 19,0% Re / 5,6% Rv / 4,6% Rc / 5,2% Ras<br>3–7 wk: 18,1% Re / 5,1% Rv / 4,4% Rc / 5,3% Ras<br>>7 wk: 17,6% Re / 4,0% Rv / 5,3% Rc / 5,2% Ras<br>(Procenten per kg drogestof) |
| Beschrijving drinkwatersysteem                  | Drinknippel in de brijvoergoot                                                                                                                                                                                           |
| Drinktijden                                     | Onbeperkt                                                                                                                                                                                                                |
| Beschrijving verlichting                        | Een raam per afdeling aan het einde van de voergang en 6 TL-armaturen boven de hokken                                                                                                                                    |
| Lichtregime                                     | Daglicht via het raam en kunstlicht van ca. 08:00 tot 16:00                                                                                                                                                              |
| Schoonmaakregime                                | Na elke ronde wordt de afdeling gereinigd met een hogedrukspuit                                                                                                                                                          |
| <i>Productiecyclus</i>                          |                                                                                                                                                                                                                          |
| Gewichtstraject                                 | Ca. 23–25 (opleg) tot 120–125 kg (afleveren)                                                                                                                                                                             |
| Leegstand tussen rondes                         | 1 tot 2 dagen                                                                                                                                                                                                            |





Positionering van de stal in de omgeving



Linker zijgevel met 5 ramen (één in elke afdeling) en ventilatorkokers centraal in de nok van de stal



Voorgevel met luchtinlaat via de langwerpige 'bak' met geperforeerde groene damwandplaat



Overzichtsfoto van een afdeling



Overzichtsfoto van een hok, met (van voor naar achter): een waterkanaal met betonroosters, een bolle vloer en een mestkanaal met gietijzeren roosters. Rechts is de brijvoergoot met drinknippel (achterin) zichtbaar.



Detailfoto van de luchtinlaat via open strook in het plafond (1) en luchtuitlaat via koker met meetventilator en smoorklep (2) naar centrale luchtkanaal

---

## Bijlage B: gedetailleerde beschrijving van gebruikte meetmethoden

### B1: bemonstering van inhaleerbaar stof (PM100)

Inhaleerbaar stof (zoals gedefinieerd in EN 481) werd bemonsterd volgens de gravimetrische meetmethode met IOM monsterkoppen (SKC Inc., Pennsylvania, VS) bij een flow van 2 L/min. Deze flow werd gerealiseerd middels een elektropomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS). De 25-mm filters werden voor en na bemonstering gewogen om de hoeveelheid (massa) verzameld stof te bepalen. Door deze massa te delen door het totaal door de sampler gehaalde luchtdebiet wordt de massaconcentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  of  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) bepaald.



De IOM sampler in 'exploded view'. Van links naar rechts: afdekdop, schroefdeksel, filter bewaarhouder (boven), filtercassette (onder; in twee delen), en het samplerhuis met bevestigingsclip en tuit voor de luchtslang

## B2: bemonstering van PM10 en PM2,5

PM10 en PM2,5 werd verzameld op een filter nadat de grotere stofdeeltjes waren afgescheiden met behulp van een PM10 cycloon (model URG-2000-30ENB; URG Corp., Chapel Hill, VS) of PM2,5 cycloon (model URG-2000-30 EG; URG Corp., Chapel Hill, VS). Het stof werd verzameld op glasvezelfilters met een diameter van 47 mm. De filters werden voor en na de stofmonsternamen gewogen onder standaard condities: een temperatuur van  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  en een relatieve luchtvochtigheid van  $50\% \pm 5\%$ . Het verschil in gewicht voor en na de metingen werd gebruikt om de hoeveelheid verzameld stof te bepalen. Lucht werd door de inlaat, cycloon en filter gezogen met monsternamepompen (Tecora, Fontenay sous Bois, Frankrijk; model Charlie HV). Deze pompen gebruiken de luchttemperatuur zoals gemeten met een temperatuurvoeler nabij de inlaatkop, en de temperatuur, druk en flow gemeten door de gasmeter binnen in de pomp om de actuele flow aan te passen naar de geprogrammeerde flow. Hierdoor blijft de flow van deze pompen ook constant bij een hoge filterbelading en een bijbehorende toename van de drukval over het filter. Hierdoor werd een stabiele luchtstroom verkregen binnen 2% van de nominale waarde. De pompen werden geprogrammeerd op een flow van  $1,0\text{ m}^3/\text{uur}$  ( $16,7\text{ L/min}$ ) en op een start- en eindtijd van de monsternamperiodes. De 24-uurs gemiddelde massaconcentratie werd vervolgens bepaald door de massa aan ingevangen stof te delen door het volume bemonsterde lucht, zoals geregistreerd door de gasmeter.

Op basis van de publicatie van Zhao et al. (2009) zijn de volgende correcties zijn uitgevoerd voor PM10: bij  $<222,6\text{ }\mu\text{g/m}^3$ :  $[y = 1,0877x]$  of bij  $>222,6\text{ }\mu\text{g/m}^3$ :  $[y = 0,8304x + 57,492]$ , waarbij y de gecorrigeerde en x de met cyclonen gemeten concentratie is.

Zowel de temperatuurvoelers als de gasmeters van de pompen werden bij aanvang van het project gekalibreerd en gejusteerd in het Luchtmeetlaboratorium van Wageningen UR Livestock Research.



De complete opstelling voor bemonstering van PM10 (links) en PM2,5 (rechts). Van boven naar beneden bestaat de opstelling uit: inlaatkop met temperatuurvoeler, cycloon, filterhouder, slang, condensatievat en pomp



## B3: Meting minuutwaarden concentratie PM10

Minuutwaarden van de concentratie van PM10 werd gemeten met een apparaat op basis van lichtverstrooiing (DustTrak™ Aerosol Monitor, model 8520; TSI Incorporated, Shoreview, VS). Dit apparaat zuigt lucht aan m.b.v. een interne pomp bij een flow van 1,7 L/min. Via een PM10 impactienozzle op de inlaatopening worden deeltjes groter dan PM10 afgescheiden van de luchtstroom. De deeltjes kleiner dan 10 µm reizen verder met de luchtstroom door een meetkamer. In deze kamer wordt het stof door een laserdiode belicht met een lichtstraaltje (golflengte: 780 nm). Via een lens wordt het door het stof gereflecteerde licht op een fotodetector gericht, welke de mate van opgevangen licht omzet in een elektrisch signaal. Middels een 'kalibratieconstante' wordt dit signaal omgezet in een massaconcentratie. De PM10 concentratie werd elke seconde gemeten en minuutgemiddelden werden gelogd in het geheugen van het apparaat en gedownload voor verdere bewerking en analyse. Bekend is dat dit apparaat absolute niveaus van de PM10 concentraties in stallen systematisch onderschat (Cambra-Lopez et al., 2015; Winkel et al., 2015). Het apparaat is daarom alleen ingezet om relatieve profielen in de stofconcentratie vast te stellen.

Naast het groot onderhoud dat ca. eens per jaar wordt uitgevoerd door de leverancier - waarbij het apparaat o.a. wordt gekalibreerd met de respirabele fractie van ISO 12103-1 A1 teststof - werden voorafgaand aan iedere meting de volgende controles en aanpassingen uitgevoerd:

- controle van de juiste interne tijd, indien nodig aanpassing naar de actuele tijd
- controle van het correcte logginginterval (1 min), indien nodig aanpassing
- reiniging van de impactienozzle
- controle van de interne filters op vervuiling, indien nodig vervanging
- controle van de flow (1,7 L/min), indien nodig aanpassing naar de correcte flow
- controle van de concentratie bij een 'nulfilter' op de inlaat, indien nodig het aanpassen van de reading naar een nulconcentratie



De TSI DustTrak model 8520

## B4: Meting deeltjesgrootteverdeling

De grootteverdeling van de stofdeeltjes werd gemeten met een apparaat op basis van lichtverstrooiing (Portable Aerosol Spectrometer, model 1.109; GRIMM Aerosol Technique GmbH & Co. KG, Ainring, Duitsland). Dit apparaat zuigt lucht aan m.b.v. een interne pomp bij een flow van 1,2 L/min. Er vindt geen voorafschieding plaats; het gehele monster wordt geanalyseerd in een meetkamer. De luchtsnelheid door deze meetkamer wordt zodanig opgevoerd dat er tijdens een meting telkens slechts één deeltje in de meetkamer aanwezig is. In deze kamer wordt het ene deeltje door een laserdiode belicht met een lichtstraaltje (golflengte: 655 nm). Via een spiegel wordt het door het deeltje gereflecteerde licht in een richting buiten de richting van de fotodetector toch naar deze detector gericht. Tevens vindt er ook directe reflectie van het deeltje naar de fotodetector plaats. De fotodetector meet twee variabelen: (1) het aantal deeltjes wordt geteld waarbij elke 'lichtpuls' die de detector bereikt als een deeltje wordt gezien, en (2) de diameter van het deeltje waarbij de lichteveelheid (vergelijkbaar met de grootte van de illuminantie of verlichtingssterkte (in lux) in de verlichtingskunde) dat op de detector valt wordt omgezet in een diameter (van een bolvormig deeltje).

Het apparaat wordt door de leverancier gekalibreerd aan een moederapparaat. De kandidaat en het moederapparaat worden daarbij gezamenlijk in een opstelling gebracht waarbij een polydispers aerosol [dolomietstof;  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] wordt gebruikt. Het moederapparaat is op haar beurt gekalibreerd met diverse monodisperse polystyreen latex aerosolen (latex bolletjes van één bekende diameter en een bekende concentratie). Het apparaat levert daarmee 'optical latex-equivalent diameters' en geen gravimetrische diameters.

Elk geteld deeltje wordt op basis van zijn grootte ingedeeld in één van 30 grootte klassen (size channels) tussen 0,25 en 32  $\mu\text{m}$ . Het apparaat kent nog een 31-ste klasse waarin alle deeltjes groter dan 32  $\mu\text{m}$  worden ingedeeld. Omdat de diameter-bovengrens van deze 31-ste klasse niet door GRIMM is gedefinieerd, zijn de data uit deze klasse niet meegenomen in het bepalen van de deeltjesgrootteverdelingen. Het meetinterval werd ingesteld op 1 seconde en minuutgemiddelden werden gelogd in het geheugen van het apparaat en gedownload voor verdere bewerking en analyse.

Voorafgaand aan iedere meting werden de volgende controles en aanpassingen uitgevoerd:

- controle van de juiste interne tijd, indien nodig aanpassing naar de actuele tijd
- controle van het correcte logginginterval (1 min), indien nodig aanpassing
- reiniging van het inlaatbuisje
- controle van de interne filters op vervuiling, indien nodig vervanging
- controle van de meetkamer op vervuiling, indien nodig reiniging door spoelen met lucht



De GRIMM Portable Aerosol Spectrometer, model 1.109

## B5: Luchtbemonstering en meting concentratie CO<sub>2</sub>

Voor het meten van de concentratie van CO<sub>2</sub> werd lucht bemonsterd volgens de longmethode. Bij deze methode wordt een 40 L Nalophan monsterzak in een gesloten vat geplaatst. Door lucht uit het vat te zuigen met behulp van een elektropomp (Thomas Industries Inc., model 607CD32, Wabasha, Minnesota, VS) en een teflon slang, ontstaat in het vat onderdruk en wordt de te bemonsteren lucht aangezogen in de zak. De lucht wordt aangezogen door een kritisch capillair welke de flow reduceert tot een constante luchtstroom van 0,02 L/min gedurende 24 uur. Op deze wijze wordt een 24-uurs luchtmonster verkregen. Het gehalte aan CO<sub>2</sub> (ppm) in het luchtmonster werd bepaald met een gaschromatograaf (Interscience/Carbo Erba Instruments, Breda, Nederland; model GC 8000 Top; kolom: Molsieve 5A; detector: HWD).



Luchtbemonsteringsvaten met slang naar luchtpomp



Gaschromatograaf

## B6: meting minuutwaarden concentratie CO<sub>2</sub>

Minuutwaarden van de concentratie van CO<sub>2</sub> werden bepaald met een meetinstrument met CO<sub>2</sub>-probe (multifunctioneel meetinstrument type 435-4 met IAQ probe voor temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, absolute luchtdruk en CO<sub>2</sub> concentratie; Testo, Almere, Nederland). Deze probe is werkzaam in een meetbereik van 0 tot 10.000 ppm CO<sub>2</sub>, heeft een resolutie van 1 ppm en een nauwkeurigheid van  $\pm 75$  ppm in het bereik tot 5000 ppm. De concentraties werden opgeslagen in het geheugen van het instrument en gedownload voor het bepalen van profielen in de relatieve concentratie van CO<sub>2</sub>.



Testo multifunctioneel meetinstrument, type 435-4 (links) en IAQ probe (rechts)

---

## B7: temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

De temperatuur (T; °C) en relatieve luchtvochtigheid (%) werden gemeten met een gecombineerde logger voor T en RV (Escort iLog; Askey Dataloggers, Leiderdorp, Nederland). Deze kleine loggers (Ø 7,6 cm) werken standalone dankzij een interne batterij. De logger is geschikt voor een meetbereik van -40 tot 70 °C en 0 tot 100% RV. De nauwkeurigheid bedraagt respectievelijk  $\pm 0,25$  °C en  $\pm 3\%$  RV. De start- en stoptijd werden in de logger geprogrammeerd en de meetdata werden na de meting gedownload met de bijbehorende software en basisstation. Om de sensoren voor T en RV te beschermen tegen stof werd een meegeleverd poreus beschermingskapje toegepast. Bij aanvang van het project werden de loggers gekalibreerd in het Luchtmeetlaboratorium van Wageningen UR Livestock Research.



De Escort iLog met display, indicatielampjes en wit beschermkapje over de sensoren



## Bijlage C: foto-impressies emissiemetingen



Vleeskuikenstal 1 – Meetkar met meetapparatuur en leidingenbundel naar de stal



Vleeskuikenstal 1 – Monsternamen in de stal, nabij de ventilatoren in de eindgevel



Vleeskuikenstal 2 – Monsternamen buiten de stal, nabij de luchtinlaatventielen



Vleesvarkenstal 2 – Opstelling apparatuur in de centrale gang en leidingenbundel naar de afdeling



Vleesvarkenstal 2 – Monsternamen in de afdeling, nabij de koker naar het luchtafvoerkanaal

---

# Bijlage D: protocol voor handling/weging filters en bepaling endotoxinegehalte

## **Weging filters**

De hoeveelheid bemonsterd stof op de filters is bepaald door voor en na de monsternamname de filters te wegen op een microbalans volgens een standaard procedure zoals eerder beschreven door Brunekreef et al. (2005). De weegprocedure is beschikbaar via de Escape project website (<http://www.escapeproject.eu/manuals/>). De weging vindt plaats onder geconditioneerde condities met een constante temperatuur van  $22 \pm 1$  °C en constante relatieve luchtvochtigheid van  $34 \pm 5\%$ . De filters zijn gedurende 24 uur voor de weging geacclimatiseerd in de weegkamer. Filters werden voor het wegen ontdaan van statische elektriciteit met behulp van een Pollonium-de-ionisator.

## **Bepaling endotoxinegehalte**

Na de weging is het aanwezige endotoxine op het filter in oplossing gebracht (geëxtraheerd) en de hoeveelheid endotoxine in het extract bepaald volgens NEN:EN 14031, echter zonder toevoeging van 0.05%Tween20 in het assaymedium zoals aanbevolen door Spaan et al (2008). Extractie vond plaats door de filters onder a-septische condities over te brengen in een 15 ml Greiner buis. Hieraan werd 5 ml pyrogeenvrij water (Braun) + 0,05% Tween20 (Merck) toegevoegd, waarna deze gedurende 1 uur geschud werd op een end-over-end roller bij kamertemperatuur. Na centrifugeren gedurende 15 minuten bij 1000g is het supernatant opgeslagen in pyrogeenvrije glazen buisjes bij -20 °Celsius tot analyse.

De hoeveelheid endotoxinen in het extract is bepaald met behulp van de kinetisch chromogene Limulus Amebocyte Lysate (LAL) assay van Lonza zonder toevoeging van 0.05%Tween in assaymedium zoals aanbevolen door Spaan et al (2008). Resultaten zijn uitgedrukt als endotoxinen units (EU) per ml extractie vloeistof, welke met behulp van het extractievolume en aangezogen volume lucht omgezet kan worden in de endotoxineconcentratie in de lucht uitgedrukt in endotoxine units (EU) per kubieke meter lucht. Het endotoxinegehalte in het stof (EU/mg) wordt bepaald door de hoeveelheid endotoxine op het filter te delen door de massahoeveelheid stof op het filter.

# Bijlage E: bepaling ventilatiedebiet met de CO<sub>2</sub>-balansmethode

Het ventilatiedebiet (V) werd bepaald met behulp van de CO<sub>2</sub>-balansmethode (CO<sub>2</sub>: koolstofdioxide) in vier stappen.

## Stap 1 – berekenen warmteproductie

De eerste stap in deze methode is het berekenen van de totale warmteproductie ( $\phi_{\text{totaal}}$ ; Watt) door de dieren. Deze warmteproducties worden berekend op basis van de rekenregels van de CIGR (CIGR, 2002; Pedersen et al., 2008) voor een omgevingstemperatuur van 20 graden Celsius:

*Leghennen:*  $\phi_{\text{totaal}} \text{ (kW)} = (6,8 * m^{0,75} + 25 * E) * 0,001$

waarbij:

m = gewicht van het dier (kg;  $m^{0,75}$  is het 'metabool gewicht' van het dier)

E = eiproductie (kg/hen per dag)

0,001 = conversiefactor van W naar kW

*Vleeskuikens:*  $\phi_{\text{totaal}} \text{ (kW)} = 10,62 * m^{0,75} * 0,001$

waarbij:

m = gewicht van het dier (kg;  $m^{0,75}$  is het 'metabool gewicht' van het dier)

0,001 = conversiefactor van W naar kW

*Vleesvarkens:*  $\phi_{\text{totaal}} \text{ (kW)} = (5,09 * m^{0,75} + [1 - (0,47 + 0,003 * m)] * [ME - 5,09 * m^{0,75}]) * 0,001$

waarbij:

m = gewicht van het dier (kg;  $m^{0,75}$  is het 'metabool gewicht' van het dier)

ME = metaboliseerbare energieopname [W]. Berekend als:

$$12,55 * VO * EW * 1000 / (3,6 * 24)$$

waarbij:

VO = voeropname (kg per dag)

EW = energiewaarde van het voer. Een dimensieloos verhoudingsgetal

$$1000 / (3,6 * 24) = \text{conversiefactor van MJ per dag naar Watt}$$

0,001 = conversiefactor van W naar kW

## Stap 2 – corrigeren warmteproductie buiten thermoneutrale zone

De aldus verkregen totale warmteproductie per dier (geldend voor een omgevingstemperatuur van 20 graden Celsius) zijn gecorrigeerd voor omgevingstemperaturen (T) afwijkend van deze temperatuur met de volgende formules:

*Pluimvee:*  $\phi_{\text{totaal\_gecorrigeerd}} \text{ (kW)} = \phi_{\text{totaal}} + 0,020 * (20 - T)$

*Varkens:*  $\phi_{\text{totaal\_gecorrigeerd}} \text{ (kW)} = \phi_{\text{totaal}} + 0,012 * (20 - T)$

## Stap 3 – omrekenen warmteproductie per dier naar CO<sub>2</sub>-productie per dier

De gecorrigeerde totale warmteproductie per dier uit stap 2 is omgerekend naar productie van CO<sub>2</sub> door vermenigvuldiging met een dierspecifieke conversiefactor. Deze factor bedroeg 0,180 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> per kW voor leghennen en voor vleeskuikens t/m 500 gram lichaamsgewicht; 0,185 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> per kW voor vleeskuikens boven 500 gram lichaamsgewicht, en 200 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> per kW voor vleesvarkens.

---

## Stap 4 – Bepalen daggemiddelde ventilatiedebiet middels de balansvergelijking

Het ventilatiedebiet (V) is vervolgens bepaald door de volgende formules:

$$V_{\text{dier}} = \frac{[\text{CO}_2]_{\text{productie\_per\_dier}}}{([\text{CO}_2]_{\text{binnen}} - [\text{CO}_2]_{\text{buiten}}) * 10^{-6}} \quad (\text{m}^3/\text{uur}; \text{gehele stal})$$

$$V_{\text{stal}} = v_{\text{dier}} * n_{\text{dieren}} \quad (\text{m}^3/\text{uur per dier})$$

waarbij:

$[\text{CO}_2]_{\text{productie\_per\_dier}}$  = berekende productie van CO<sub>2</sub> (m<sup>3</sup>/uur per dier)

$[\text{CO}_2]_{\text{binnen}}$  = gemeten concentratie van CO<sub>2</sub> in de stal, nabij het emissiepunt (ppm)

$[\text{CO}_2]_{\text{buiten}}$  = gemeten concentratie van CO<sub>2</sub> buiten de stal, nabij de luchtinlaat (ppm)

$10^{-6}$  = conversiefactor van ppm naar m<sup>3</sup>

$n_{\text{dieren}}$  = aantal dieren in de stal op de dag van meting

## Stap 5 – Omrekening daggemiddelde ventilatiedebiet naar uurwaarden

Het onder stap 4 bepaalde ventilatiedebiet is een gemiddelde over de gehele meetdag van 24 uur. Voor de varkens- en vleeskuikenstallen zijn deze waarden vervolgens omgerekend naar 24 afzonderlijke uurwaarden middels een ventilatieprofiel op relatieve schaal over de dag. Bij dit profiel centreren de debietwaarden zich rondom het gemiddelde van 1. Voor elk van de bedrijven is een specifiek profiel gemaakt.

Voor vleeskuikenstal 1 is hiervoor het ventilatieniveau (in procenten van de capaciteit) die door de klimaatcomputer werd opgeslagen gedownload. Voor de twee vleesvarkenstallen zijn hiervoor de pulsen gebruikt van de meetventilator in de betreffende afdeling die daartoe werden gelogd in een databox. Voor vleeskuikenstal 2 is een ventilatieprofiel gemaakt op basis van continue debietmetingen aan deze stal tijdens een onderzoeksproject in het verleden.

Voor de twee leghennenstallen is een andere aanpak gebruikt: voor deze stallen zijn zowel  $[\text{CO}_2]_{\text{productie\_per\_dier}}$  als  $[\text{CO}_2]_{\text{binnen}}$  in de balansvergelijking onder stap 4 op uurbasis bepaald terwijl voor  $[\text{CO}_2]_{\text{buiten}}$  een constante waarde werd gebruikt zoals gemeten over 24 uur. De uurwaarden voor  $[\text{CO}_2]_{\text{productie\_per\_dier}}$  zijn bepaald door de daggemiddelde CO<sub>2</sub> productie per dier (uitkomst stap 3) te vermenigvuldigen met een 24-uursprofiel van de relatieve CO<sub>2</sub>-productie (absolute waarden omgerekend naar relatieve waarden met een gemiddelde van 1). Deze relatieve cijfers zijn in eerder onderzoek bepaald aan leghennen in respiratiecellen. De uurwaarden voor  $[\text{CO}_2]_{\text{binnen}}$  zijn bepaald door de gemeten daggemiddelde CO<sub>2</sub> concentratie in de stal te vermenigvuldigen met een 24-uursprofiel voor dit kenmerk. Dit 24-uursprofiel werd voor elke meetdag bepaald door middel van een continu meetinstrument (Testo, type 435-4, met CO<sub>2</sub>-sensor). De gemeten waarden in ppm werden hiertoe omgerekend naar relatieve uurwaarden met een gemiddelde van 1.

*De profielen van het relatieve ventilatiedebiet worden voor elke stal afzonderlijk weergegeven in Bijlage H.*



# Bijlage F: resultaten productiekengetallen

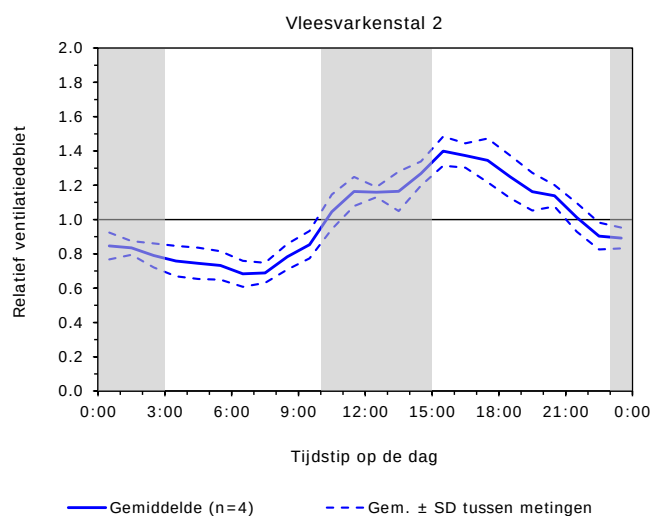
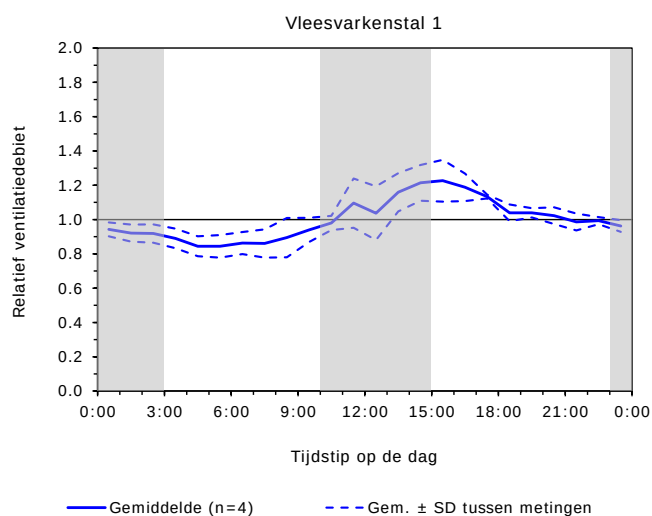
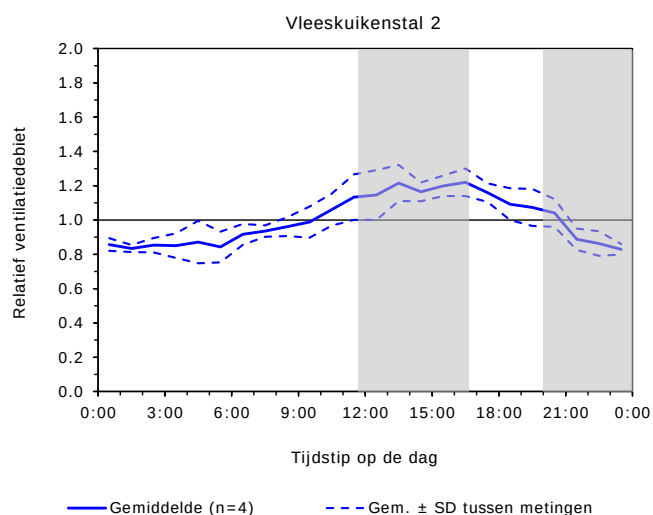
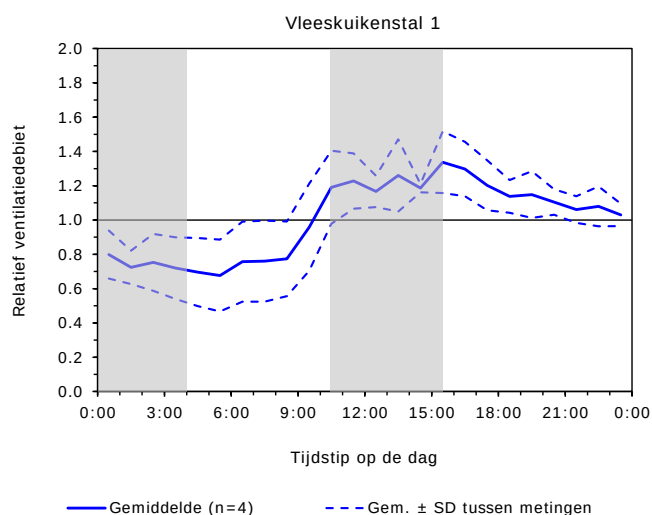
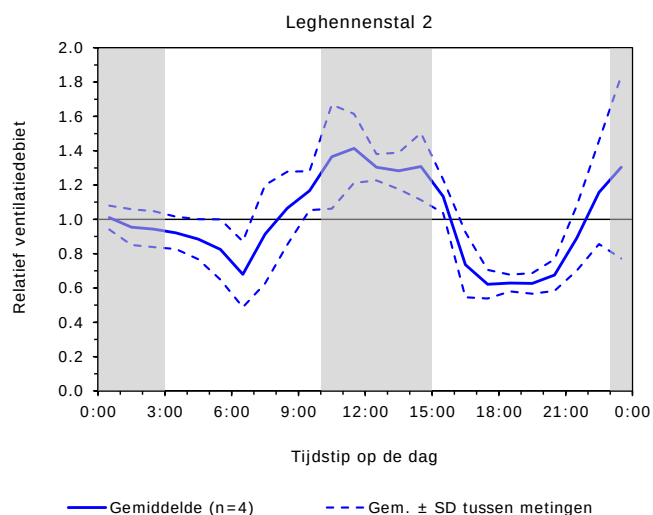
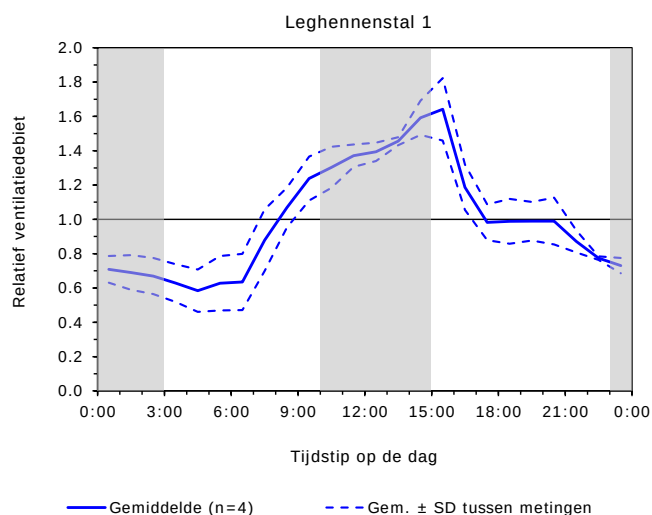
| Stallocatie       | Productiekengetal               | Meetdag    |            |            |           |
|-------------------|---------------------------------|------------|------------|------------|-----------|
|                   |                                 | 1          | 2          | 3          | 4         |
| Leghennenstal 1   | Datum meetdag                   | 5-11-2014  | 5-2-2015   | 16-4-2015  | 20-5-2015 |
|                   | Dag in legronde                 | 62         | 154        | 224        | 258       |
|                   | Aantal dieren geplaatst         | 12146      | 12146      | 12146      | 12146     |
|                   | Aantal dieren aanwezig          | 12000      | 11826      | 11800      | 11347     |
|                   | Uitval (%)                      | 1,20       | 2,63       | 2,85       | 6,58      |
|                   | Diergewicht (kg)                | 1,9        | 1,9        | 1,9        | 1,9       |
|                   | Legpercentage (%)               | 95,4       | 95,6       | 93,5       | 93,0      |
|                   | Eigewicht (gram)                | 57,0       | 61,7       | 62,0       | 62,0      |
|                   | Eiproductie (kg/dier per dag)   | 0,054      | 0,059      | 0,058      | 0,058     |
|                   | Voeropname (kg/dier per week)   | 0,803      | 0,863      | 0,830      | 0,826     |
|                   | Waterverbruik (L/dier per week) | 1,384      | 1,447      | 1,440      | 1,496     |
|                   | Water/voer-verhouding           | 1,72       | 1,68       | 1,73       | 1,81      |
| Leghennenstal 2   | Datum meetdag                   | 28-10-2014 | 25-2-2015  | 31-3-2015  | 11-6-2015 |
|                   | Dag in legronde                 | 162        | 282        | 316        | 388       |
|                   | Aantal dieren geplaatst         | 17460      | 17460      | 17460      | 17460     |
|                   | Aantal dieren aanwezig          | 17342      | 17073      | 16886      | 16400     |
|                   | Uitval (%)                      | 0,68       | 2,22       | 3,29       | 6,07      |
|                   | Diergewicht (kg)                | 1,8        | 1,8        | 1,8        | 1,8       |
|                   | Legpercentage (%)               | 92,7       | 87,0       | 85,3       | 85,3      |
|                   | Eigewicht (gram)                | 61,4       | 61,4       | 61,4       | 61,4      |
|                   | Eiproductie (kg/dier per dag)   | 0,057      | 0,053      | 0,052      | 0,052     |
|                   | Voeropname (kg/dier per week)   | 0,83       | 0,81       | 0,82       | 0,78      |
|                   | Waterverbruik (L/dier per week) | 1,37       | 1,33       | 1,35       | 1,26      |
|                   | Water/voer-verhouding           | 1,65       | 1,65       | 1,65       | 1,61      |
| Vleeskuikenstal 1 | Datum meetdag                   | 20-10-2014 | 4-3-2015   | 21-4-2015  | 26-5-2015 |
|                   | Dag in groeironde               | 38         | 27         | 35         | 27        |
|                   | Aantal dieren geplaatst         | 44100      | 50000      | 49800      | 49000     |
|                   | Aantal dieren aanwezig          | 43528      | 49484      | 49197      | 48445     |
|                   | Uitval (%)                      | 1,30       | 1,03       | 1,21       | 1,13      |
|                   | Diergewicht (kg)                | 2,116      | 1,271      | 1,865      | 1,340     |
|                   | Voeropname (kg/dier per week)   | 0,17       | 0,13       | 0,16       | 0,13      |
|                   | Waterverbruik (L/dier per week) | 0,29       | 0,22       | 0,28       | 0,22      |
|                   | Water/voer-verhouding           | 1,66       | 1,72       | 1,74       | 1,71      |
|                   |                                 |            |            |            |           |
| Vleeskuikenstal 2 | Datum meetdag                   | 28-5-2015  | 1-6-2015   | 7-7-2015   | 13-7-2015 |
|                   | Dag in groeironde               | 30         | 34         | 28         | 34        |
|                   | Aantal dieren geplaatst         | 13500      | 13500      | 17000      | 17000     |
|                   | Aantal dieren aanwezig          | 12978      | 12970      | 16744      | 16720     |
|                   | Uitval (%)                      | 3,87       | 3,93       | 1,51       | 1,65      |
|                   | Diergewicht (kg)                | 0,850      | 0,945      | 1,430      | 1,910     |
|                   | Voeropname (kg/dier per week)   | 1,30       | 1,32       | 1,11       | 1,20      |
|                   | Waterverbruik (L/dier per week) | 1,98       | 2,17       | 2,42       | 2,44      |
|                   | Water/voer-verhouding           | 1,53       | 1,64       | 2,19       | 2,04      |
|                   |                                 |            |            |            |           |
| Vleesvarkenstal 1 | Datum meetdag                   | 22-10-2014 | 10-11-2014 | 24-11-2014 | 6-5-2015  |
|                   | Dag in groeironde               | 33         | 52         | 66         | 91        |
|                   | Aantal dieren geplaatst         | 96         | 96         | 96         | 96        |
|                   | Aantal dieren aanwezig          | 96         | 96         | 96         | 93        |
|                   | Diergewicht (kg)                | 50         | 60         | 75         | 95        |
|                   | Energiewaarde voer              | 1,11       | 2,79       | 2,79       | 2,79      |
|                   | Voeropname (kg/dier per dag)    | 2,5        | 2,5        | 2,5        | 2,6       |
|                   | Waterverbruik (L/dier per dag)  | 4,3        | 5,0        | 5,0        | 6,0       |
|                   | Water/voer-verhouding           | 1,7        | 2,0        | 2,0        | 2,3       |
| Vleesvarkenstal 2 | Datum meetdag                   | 14-10-2014 | 12-11-2014 | 9-4-2015   | 28-4-2015 |
|                   | Dag in groeironde               | 49         | 78         | 91         | 110       |
|                   | Aantal dieren geplaatst         | 72         | 72         | 72         | 72        |
|                   | Aantal dieren aanwezig          | 72         | 72         | 68         | 63        |
|                   | Diergewicht (kg)                | 60         | 85         | 93         | 105       |
|                   | Energiewaarde voer              | 1,12       | 1,12       | 1,12       | 1,12      |
|                   | Voeropname (kg/dier per week)   | 2,3        | 2,3        | 2,9        | 2,9       |
|                   | Waterverbruik (L/dier per week) | 5,6        | 5,6        | 6,8        | 6,8       |
|                   | Water/voer-verhouding           | 2,4        | 2,4        | 2,4        | 2,4       |

# Bijlage G: resultaten klimaat en ventilatie

| Stallocatie       | Variabele                                                       | Meetdag    |            |            |           |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|-----------|
|                   |                                                                 | 1          | 2          | 3          | 4         |
| Leghennenstal 1   | Datum meetdag                                                   | 5-11-2014  | 5-2-2015   | 16-4-2015  | 20-5-2015 |
|                   | Temperatuur buiten (°C)                                         | 6,6        | 0,1        | 11,1       | 11,2      |
|                   | Temperatuur stal (°C)                                           | 19,2       | 17,9       | 19,1       | 20,2      |
|                   | Relatieve luchtvochtigheid buiten (%)                           | 97         | 85         | 55         | 72        |
|                   | Relatieve luchtvochtigheid stal (%)                             | 70         | 72         | 54         | 56        |
|                   | CO <sub>2</sub> -concentratie buiten (ppm)                      | 534        | 495        | 488        | 393       |
|                   | CO <sub>2</sub> -concentratie stal (ppm)                        | 1865       | 2492       | 1449       | 1337      |
|                   | Debiet, 24-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier)              | 1,70       | 1,17       | 2,38       | 2,36      |
|                   | Debiet lichtperiode, 4-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier)  | 2,52       | 1,68       | 3,61       | 4,16      |
|                   | Debiet donkerperiode, 4-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier) | 1,30       | 0,91       | 1,78       | 1,59      |
| Leghennenstal 2   | Datum meetdag                                                   | 28-10-2014 | 25-2-2015  | 31-3-2015  | 11-6-2015 |
|                   | Temperatuur buiten (°C)                                         | 11,4       | 5,6        | 7,2        | 20,9      |
|                   | Temperatuur stal (°C)                                           | 19,2       | 18,5       | 19,2       | 23,7      |
|                   | Relatieve luchtvochtigheid buiten (%)                           | 82         | 93         | 63         | 47        |
|                   | Relatieve luchtvochtigheid stal (%)                             | 68         | 68         | *          | 43        |
|                   | CO <sub>2</sub> -concentratie buiten (ppm)                      | 530        | 468        | 478        | 382       |
|                   | CO <sub>2</sub> -concentratie stal (ppm)                        | 1150       | 1702       | 1632       | 668       |
|                   | Debiet, 24-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier)              | 3,54       | 1,79       | 1,88       | 5,66      |
|                   | Debiet lichtperiode, 4-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier)  | 5,38       | 2,40       | 2,38       | 5,43      |
|                   | Debiet donkerperiode, 4-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier) | 3,54       | 1,92       | 2,01       | 7,79      |
| Vleeskuikenstal 1 | Datum meetdag                                                   | 20-10-2014 | 4-3-2015   | 21-4-2015  | 26-5-2015 |
|                   | Temperatuur buiten (°C)                                         | 12,5       | 4,0        | 10,9       | 12,3      |
|                   | Temperatuur stal (°C)                                           | 21,6       | 25,2       | 19,4       | 23,4      |
|                   | Relatieve luchtvochtigheid buiten (%)                           | 85         | 90         | 68         | 62        |
|                   | Relatieve luchtvochtigheid stal (%)                             | 72         | 64         | 60         | 59        |
|                   | CO <sub>2</sub> -concentratie buiten (ppm)                      | 584        | 453        | 458        | 388       |
|                   | CO <sub>2</sub> -concentratie stal (ppm)                        | 1225       | 2764       | 1440       | 1654      |
|                   | Debiet, 24-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier)              | 5,20       | 0,91       | 3,23       | 1,80      |
|                   | Debiet lichtperiode, 4-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier)  | 5,88       | 1,22       | 5,44       | 2,08      |
|                   | Debiet donkerperiode, 4-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier) | 4,68       | 0,68       | 1,31       | 1,15      |
| Vleeskuikenstal 2 | Datum meetdag                                                   | 28-5-2015  | 1-6-2015   | 7-7-2015   | 13-7-2015 |
|                   | Temperatuur buiten (°C)                                         | 11,6       | 12,9       | 19,2       | 13,0      |
|                   | Temperatuur stal (°C)                                           | 21,6       | 21,2       | 23,1       | 24,2      |
|                   | Relatieve luchtvochtigheid buiten (%)                           | 76         | 77         | 71         | 91        |
|                   | Relatieve luchtvochtigheid stal (%)                             | 58         | *          | 64         | 76        |
|                   | CO <sub>2</sub> -concentratie buiten (ppm)                      | 430        | 487        | 391        | 378       |
|                   | CO <sub>2</sub> -concentratie stal (ppm)                        | 1190       | 1390       | 802        | 1187      |
|                   | Debiet, 24-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier)              | 1,50       | 1,60       | 5,87       | 3,60      |
|                   | Debiet lichtperiode, 4-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier)  | 1,73       | 1,85       | 6,78       | 4,16      |
|                   | Debiet donkerperiode, 4-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier) | 1,27       | 1,35       | 4,96       | 3,04      |
| Vleesvarkenstal 1 | Datum meetdag                                                   | 22-10-2014 | 10-11-2014 | 24-11-2014 | 6-5-2015  |
|                   | Temperatuur buiten (°C)                                         | 10,5       | 8,2        | 3,5        | 12,5      |
|                   | Temperatuur stal (°C)                                           | 24,9       | 24,7       | 23,8       | 24,7      |
|                   | Relatieve luchtvochtigheid buiten (%)                           | 84         | 88         | 93         | 71        |
|                   | Relatieve luchtvochtigheid stal (%)                             | 65         | 57         | 56         | 49        |
|                   | CO <sub>2</sub> -concentratie buiten (ppm)                      | 520        | 499        | 546        | 475       |
|                   | CO <sub>2</sub> -concentratie stal (ppm)                        | 1845       | 2470       | 2820       | 1777      |
|                   | Debiet, 24-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier)              | 29,8       | 40,8       | 33,5       | 53,8      |
|                   | Debiet lichtperiode, 4-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier)  | 29,4       | 47,8       | 42,7       | 57,9      |
|                   | Debiet donkerperiode, 4-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier) | 28,9       | 37,8       | 29,6       | 51,9      |
| Vleesvarkenstal 2 | Datum meetdag                                                   | 14-10-2014 | 12-11-2014 | 9-4-2015   | 28-4-2015 |
|                   | Temperatuur buiten (°C)                                         | 13,7       | 9,4        | 14,4       | 12,0      |
|                   | Temperatuur stal (°C)                                           | 25,4       | 25,0       | 24,9       | 22,9      |
|                   | Relatieve luchtvochtigheid buiten (%)                           | 88         | 81         | 61         | 45        |
|                   | Relatieve luchtvochtigheid stal (%)                             | 67         | 67         | 59         | 50        |
|                   | CO <sub>2</sub> -concentratie buiten (ppm)                      | 544        | 578        | 622        | 488       |
|                   | CO <sub>2</sub> -concentratie stal (ppm)                        | 1680       | 2760       | 2172       | 2474      |
|                   | Debiet, 24-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier)              | 33,5       | 17,8       | 28,0       | 22,4      |
|                   | Debiet lichtperiode, 4-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier)  | 39,8       | 21,6       | 33,8       | 25,9      |
|                   | Debiet donkerperiode, 4-uursgem. (m <sup>3</sup> /uur per dier) | 28,2       | 15,5       | 24,3       | 17,5      |

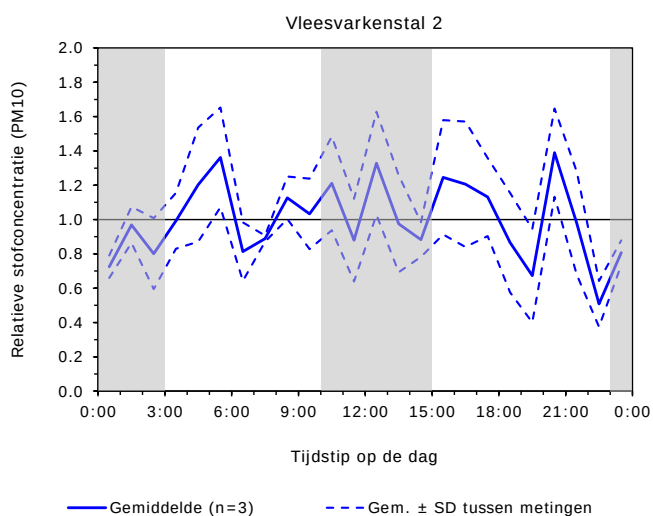
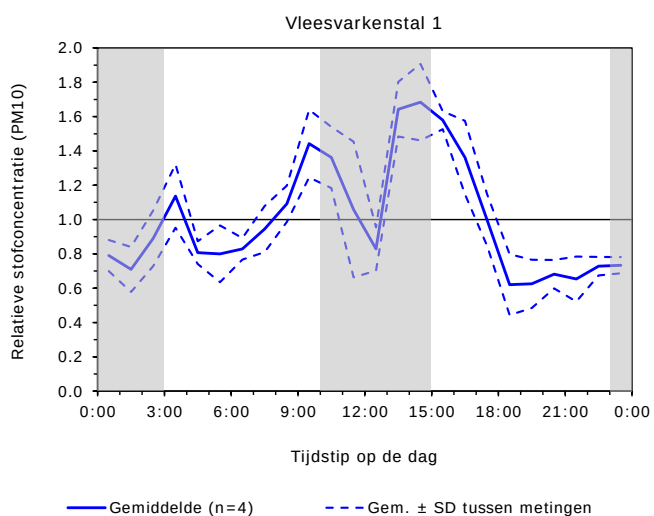
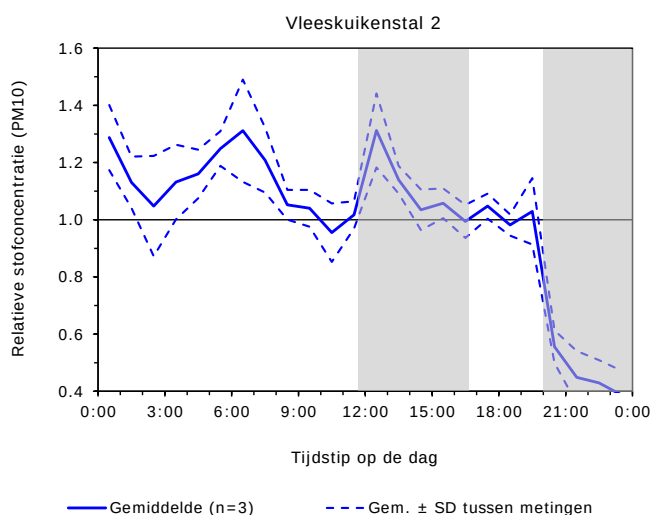
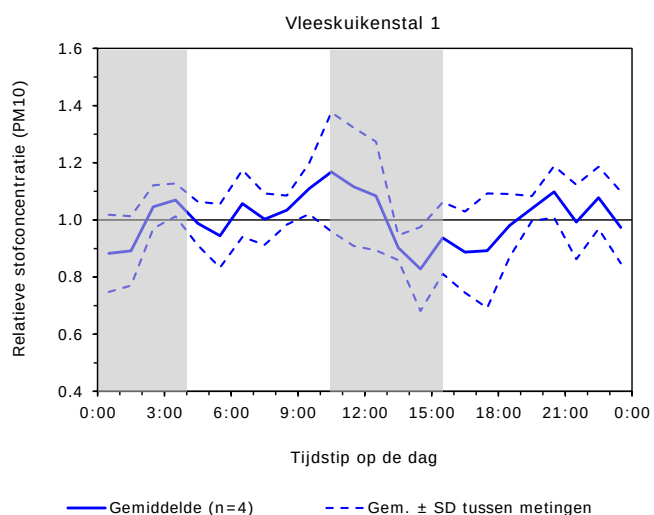
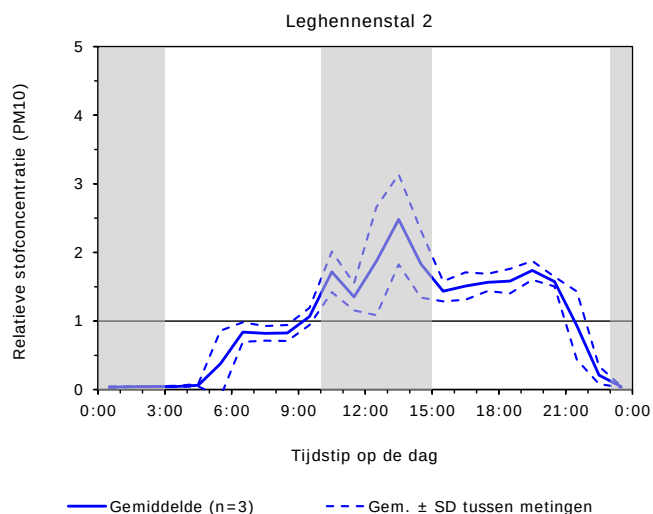
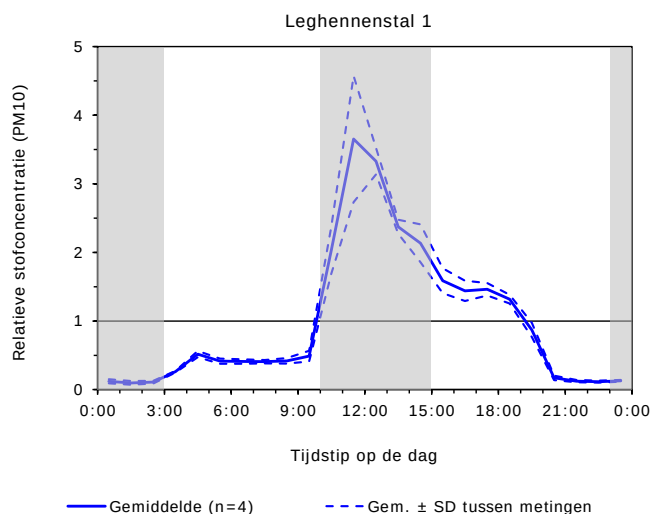
\* Geen waarneming door technische storing

# Bijlage H: resultaten ventilatieprofielen



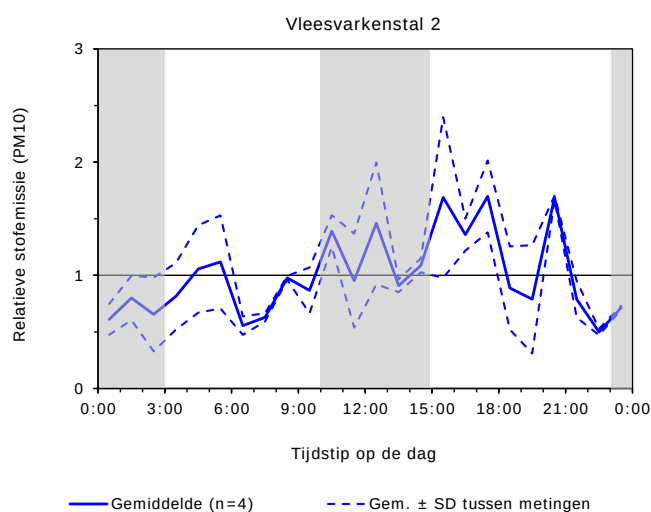
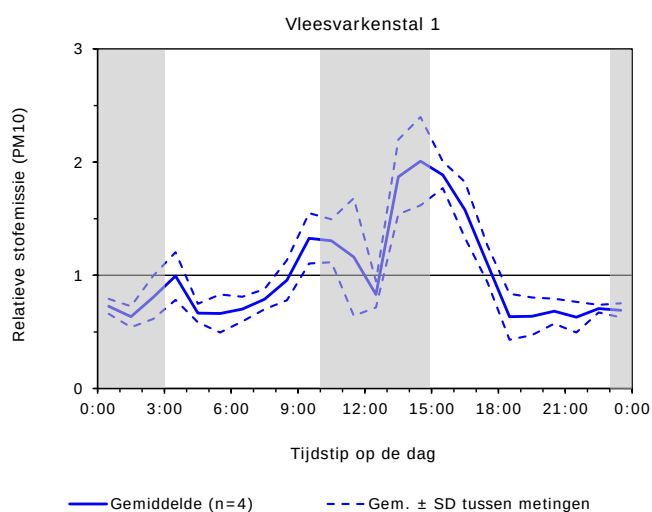
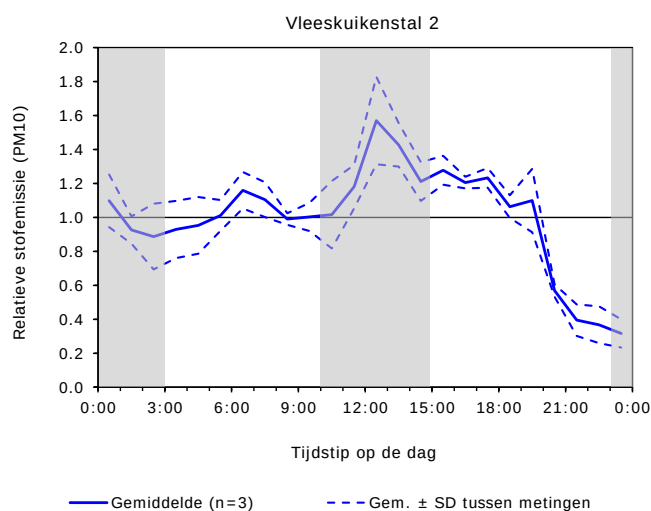
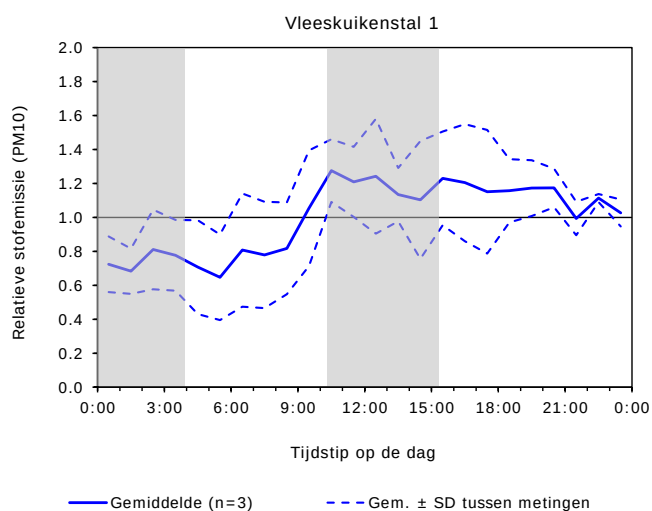
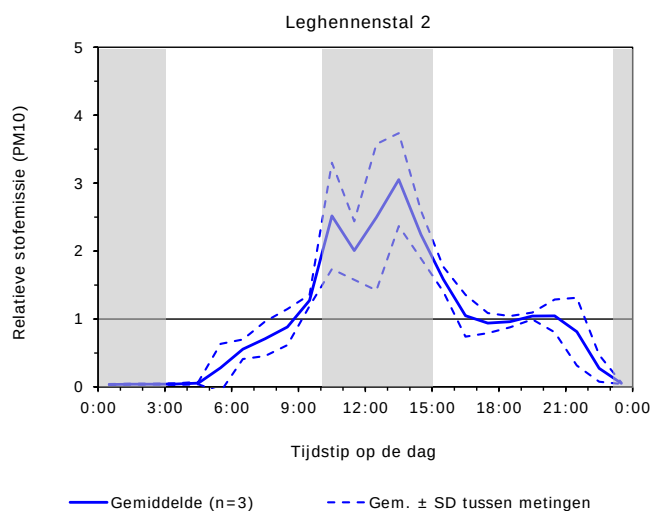
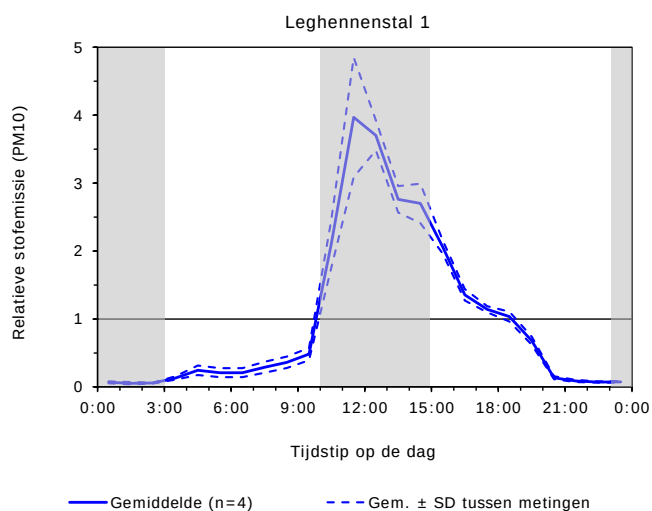
N.B. Grijsje tijdsperioden markeren 4-uurs meetperioden tijdens de licht- en donkerperiode.

# Bijlage I: resultaten concentratieprofielen stof



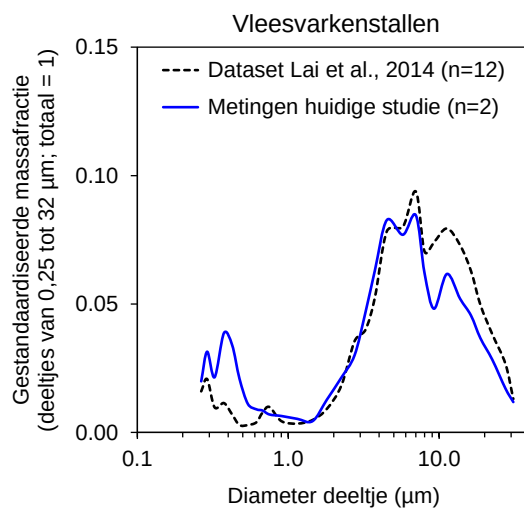
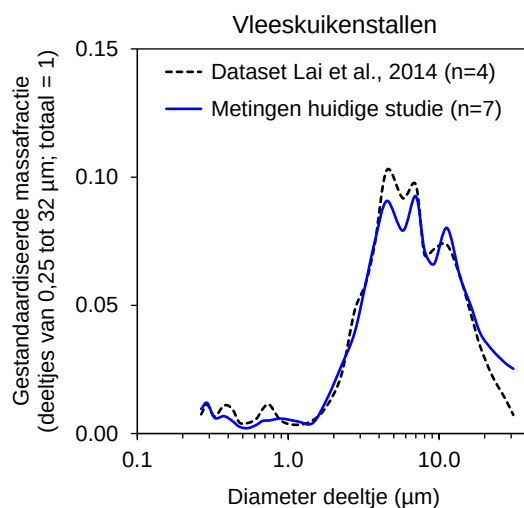
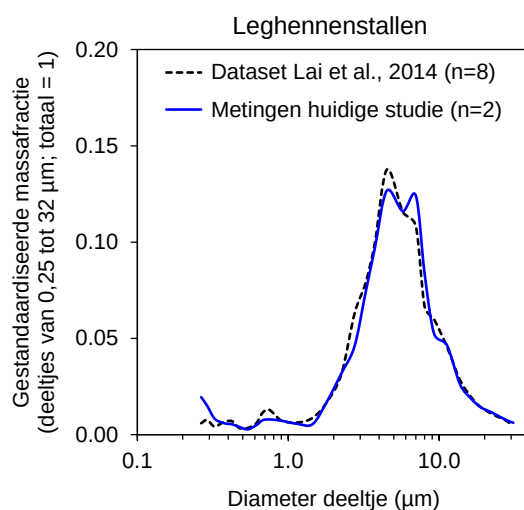
N.B. Grijsje tijdsperioden markeren 4-uurs meetperioden tijdens de licht- en donkerperiode.

# Bijlage J: resultaten emissieprofielen stof



N.B. Grijsje tijdsperioden markeren 4-uurs meetperioden tijdens de licht- en donkerperiode.

## Bijlage K: resultaten deeltjesgrootteverdeling (0,25 tot 32 $\mu\text{m}$ )



n = het aantal metingen

# Bijlage L: resultaten variantiecomponenten (natuurlijke logschaal)

Varianties voor stofconcentratie, endotoxinegehalte en endotoxineconcentratie en op drie niveaus: tussen bedrijf, tussen dag binnen bedrijf, en binnen dag binnen bedrijf.

| Variantie-<br>component       | PM100   |           | PM10    |           | PM2,5   |           |
|-------------------------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
|                               | Overdag | 's Nachts | Overdag | 's Nachts | Overdag | 's Nachts |
| <b>Stofconcentratie</b>       |         |           |         |           |         |           |
| Tussen bedrijf                | 0.05    | 0.38      | 0.06    | 0.32      | --      | 0.22      |
| Tussen dag binnen bedrijf     | 0.11    | 0.16      | 0.09    | 0.09      | 0.11    | 0.12      |
| Binnen dag binnen bedrijf     | 0.11    | 0.02      | 0.02    | 0.01      | 0.06    | 0.07      |
| <b>Endotoxinegehalte</b>      |         |           |         |           |         |           |
| Tussen bedrijf                | 0.09    | 0.09      | 0.01    | 0.04      | 0.34    | 0.10      |
| Tussen dag binnen bedrijf     | 0.07    | 0.14      | 0.24    | 0.07      | 0.03    | 0.34      |
| Binnen dag binnen bedrijf     | 0.14    | 0.04      | 0.05    | 0.04      | 0.14    | 0.09      |
| <b>Endotoxineconcentratie</b> |         |           |         |           |         |           |
| Tussen bedrijf                | 0.24    | 0.61      | 0.16    | 0.43      | 0.26    | 0.62      |
| Tussen dag binnen bedrijf     | 0.08    | 0.19      | 0.36    | 0.18      | 0.18    | 0.40      |
| Binnen dag binnen bedrijf     | 0.14    | 0.04      | 0.07    | 0.04      | 0.08    | 0.09      |

Merk op dat de varianties voor endotoxineconcentraties groter zijn dan die voor stofconcentraties. Dit betekent dat de variatie in endotoxineconcentraties in stallucht groter is dan de variatie in stofconcentraties in stallucht. Merk tevens op dat de varianties voor het endotoxinegehalte meer in de bandbreedte van die van de stofconcentratie liggen.

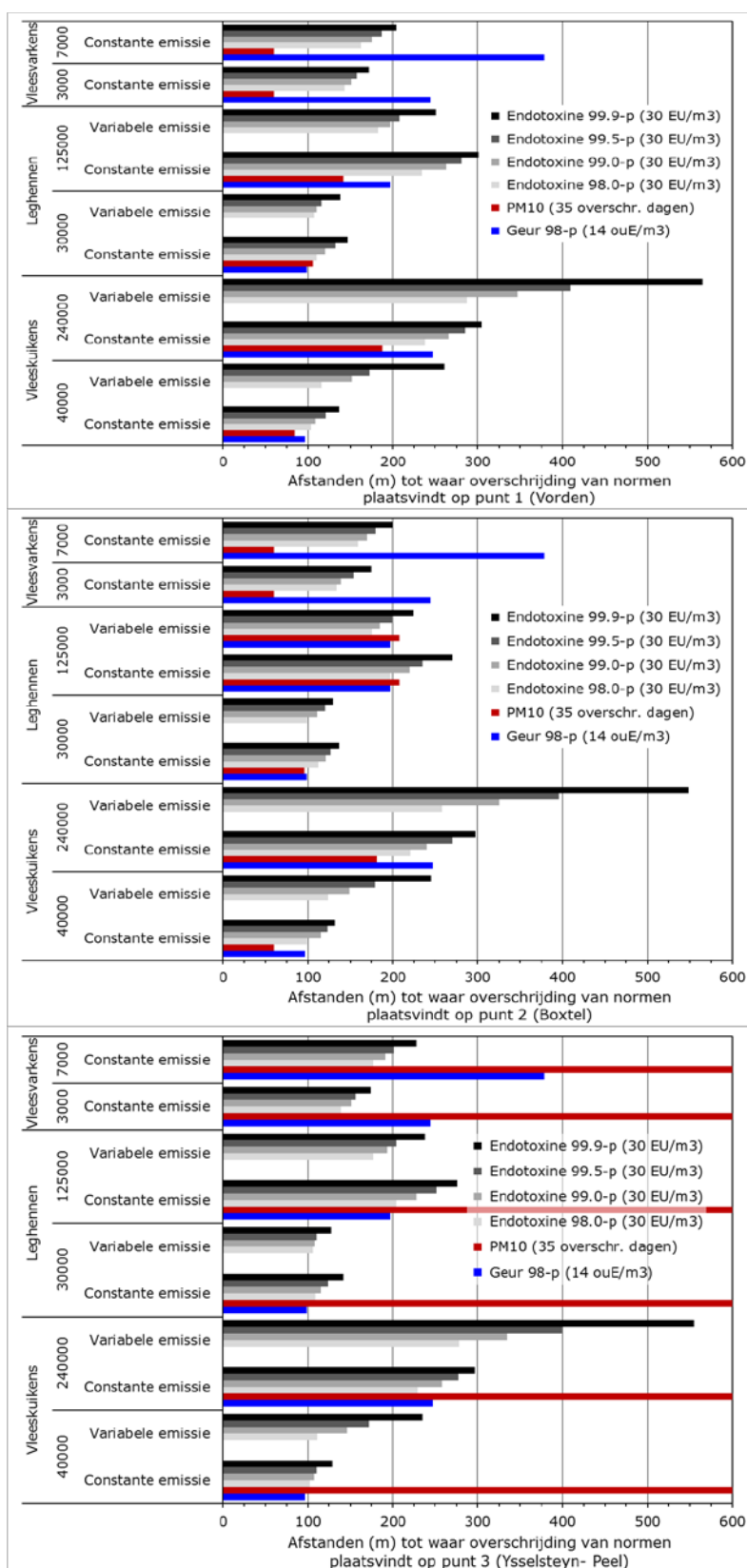
## Bijlage M: kaart gemodelleerde regio's



De drie regio's: (1) Vorden, Gelderland; (2) Boxtel, Noord-Brabant; (3) Ysselsteyn, Limburg

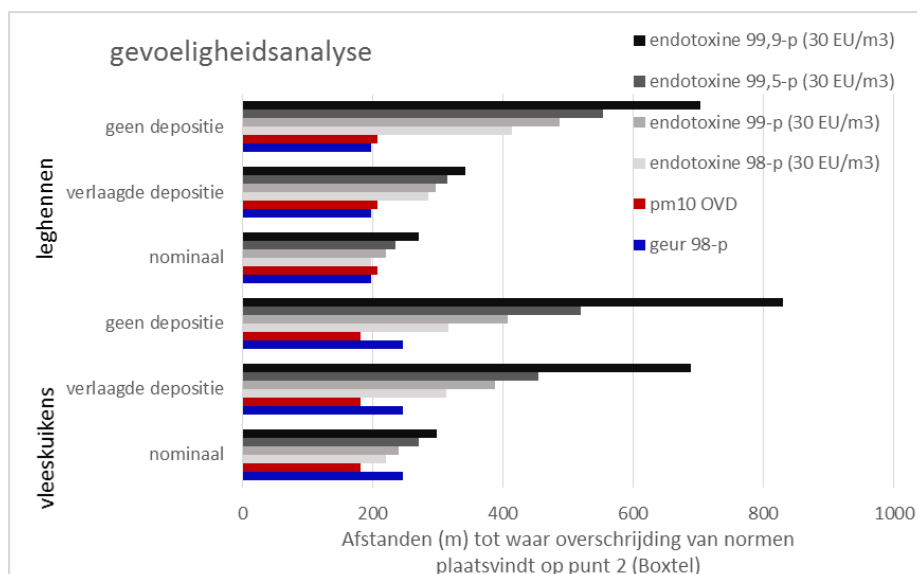


# Bijlage N: figuren overschrijdingsafstanden uit modelberekeningen



Afstanden tot waar overschrijding van normen plaatsvindt in regio 1 (Vorden, Gelderland; boven), regio 2 (Boxtel, Noord-Brabant; midden) en regio 3 (Ysselsteyn, Limburg; onder) van respectievelijk de endotoxinenorm (30 EU/m<sup>3</sup>; 99,9 / 99,5 / 99,0 en 98,0 percentiel), de PM10 norm (maximaal 35 overschrijdingsdagen waarop de daggemiddelde PM10 concentratie de 40 µg/m<sup>3</sup> overschrijdt), en de geurnorm (14 OU<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>; 98,0 percentiel).

## Bijlage O: figuren overschrijdingsafstanden uit gevoeligheidsanalyse depositiegedrag



Afstanden tot waar overschrijding van normen plaatsvindt regio 2 (Boxtel, Noord-Brabant) van respectievelijk de endotoxinenorm ( $30 \text{ EU/m}^3$ ; 99,9 / 99,5 / 99,0 en 98,0 percentiel), de PM10 norm (maximaal 35 overschrijdingsdagen waarop de daggemiddelde PM10 concentratie de  $40 \mu\text{g/m}^3$  overschrijdt), en de geurnorm ( $14 \text{ OUE/m}^3$ ; 98,0 percentiel) per doorgerekende variant in de gevoeligheidsanalyse van het depositiegedrag van de deeltjes in de pluim (nominaal = variant a. zoals doorgerekend in hoofdstuk 5; verlaagde depositie = variant b., met een lagere depositiesnelheid op basis van literatuurgegevens voor leghennen; geen depositie = variant c, een 'worst case scenario').

---

## Bijlage P: samenstelling klankbordgroep

|                      |                                         |
|----------------------|-----------------------------------------|
| Jan de Rijk          | Ministerie van Infrastructuur en Milieu |
| Kaj Locher           | Ministerie van Infrastructuur en Milieu |
| Edwin Cornelissen    | Kenniscentrum InfoMil, Rijkswaterstaat  |
| Folkert Folkertsma   | Ministerie van Economische Zaken        |
| Rob Scholtens        | Provincie Noord-Brabant (IPO)           |
| Henk ter Horst       | Provincie Gelderland (IPO)              |
| Frank Toemen         | Gemeente Ede                            |
| Fred Stouthart       | Omgevingsdienst Zuidoost-Brabant        |
| Steven van der Lelie | GGD Noord- en Oost-Gelderland           |
| Renske Nijdam        | GGD Brabant                             |
| Jan Brok             | Nederlandse Vakbond Pluimveehouders     |
| Herman Litjens       | ZLTO, LTO Nederland                     |
| Hugo Bens            | ZLTO                                    |

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



Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
T 0317 48 39 53  
E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wageningenUR.nl/livestockresearch](http://www.wageningenUR.nl/livestockresearch)

Wageningen UR 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 UR (University & Research centre) 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.

