Endotoxine concentraties rond stallen: modelberekeningen

Rapport 2020R003

28 april 2020

ErbrinkStacks Consult
Graaf van Rechterenweg 15
6961BN Oosterbeek
M. 06 5131 3650
info@erbrinkstacks.nl
www.erbrinkstacks.nl

Inhoud

Inhoud **3**
Samenvatting **4**
1 Inleiding en vraagstelling **5**
2 De aanpak **6**
2.1 Model aannamen 6
3 Invoergegevens **7**
3.1 Stofgegevens 7
3.1.1 Stalafmetingen 8
3.1.2 Overige invoerparameters 11
4 Berekeningsresultaten **12**
5 Bespreking resultaten **14**
Referenties **16**
Bijlage A. Tabellen met Overschrijdingsafstanden **17**
Bijlage B. Overschrijdingsafstanden: de curven **20**

Samenvatting

In eerdere studies in 2016 naar endotoxinen zijn schattingen gemaakt van buitenluchtconcentraties rond stallen met drie diersoorten: vleeskuikens, leghennen of vleesvarkens. Daarbij is bepaald wat de overschrijdingsafstand is van de grenswaarde van 30 EU/m^3 (als 99,5 percentielwaarde van 4 uurgemiddelden) voor verschillende schaalgrootten van bedrijven. Deze afstandcurven zijn in de provincie Noord-Brabant gebruikt om een eerste beleidsrichtlijn op te zetten voor vergunningverlening van agrarische bedrijven.

Sinds 2016 is er meer informatie beschikbaar gekomen: er zijn meer emissiemetingen uitgevoerd bij meer stallen en ook bij meer diersoorten en het verspreidingsmodel STACKS is verder uitgewerkt. Dat maakt dat er een update van de afstandscurven wenselijk is ten einde om het beleid goed af te stemmen op deze meest recente inzichten.

Voor het berekenen van de overschrijdingsafstanden is het verspreidingsmodel STACKS weer gebruikt. Daarmee wordt de verspreiding en de depositie van deeltjes (met endotoxinen) uit stallen berekend. De overschrijdingsafstand is berekend door voor 12 windrichtingen met toenemende afstand de 99,5percentielwaarde te bepalen en deze per afstand gewogen te middelen. Door deze procedure voor 7 of 8 schaalgroottes te doen, ontstaat een curve waarin de overschrijdingsafstand een functie is van de PM10 emissie, die bij de schaalgrootte hoort. Natuurlijk had de overschrijdingsafstand ook tegen het aantal dieren uitgezet kunnen worden, maar bij verschillende stalsystemen kan een andere PM10 emissie horen bij hetzelfde dieraantal. De PM10 emissie is voor een groot aantal dier-stalsystemen bekend en daarom een betere maat dan het dierenaantal.

Voor 10 relevante diersoorten is zo de overschrijdingsafstand tegen PM10 emissie uitgezet en zowel ins tabelvorm als grafisch in bijlagen opgenomen. Dit is weer gedaan voor de grenswaarde van 30 EU/m3, maar nu ook voor de niveaus 20 en 10 EU/m3. Afgesproken was om de volgende reeks 1-5-10-20-30 mee te nemen (mail rob 11 december 2019)

Net als in de eerdere studie geven ook hier de resultaten voor de leghennen (nu de nummer 1) en vleeskuikens de grootste overschrijdingsafstanden. Voor een gemiddelde stal met leghennen of vleeskuikens is de overschrijdingsafstand in de orde van 200 m; voor vleesvarkens en biggen is dit de helft en voor de andere diersoorten is dit (veel) minder dan 50 m. Voor grotere stallen (dan gemiddeld) neemt de overschrijdingsafstand duidelijk toe.

heeft opmaak toegepast: Nederlands (standaard)

1 Inleiding en vraagstelling

De intensieve veehouderijen binnen de agrarische sector dragen bij aan de emissies van fijn stof (PM10) in Nederland. Dit geëmitteerde fijn stof bestaat uit een aantal stoffen, waarvan endotoxinen onderdeel uit (kunnen) maken. Endotoxinen zijn celwandbestanddelen van Gram-negatieve bacteriën; deze kunnen ~~allergische~~ ontstekingsreacties en luchtwegklachten veroorzaken bij inademing. Door de Gezondheidsraad is een norm gesteld aan de maximale endotoxine concentraties in de buitenlucht van 30 EU/m^3. Daarbij is niet aangegeven wat hiervoor de middelingstijd is en evenmin of dit een endotoxinegrenswaarde is die nooit, dan wel slechts in een beperkte aantal momenten (een beperkte tijd) mag worden overschreden (een zogenaamd percentiel).

In een eerdere studie naar endotoxinen (Erbrink, 2016) is een schatting gemaakt van mogelijke buitenluchtconcentraties rond stallen met vleeskuikens, leghennen of vleesvarkens. Daarbij is bepaald wat de overschrijdingsafstand kan zijn van de norm voor diverse schaalgrootten van bedrijven. De norm van 30 EU/m^3 is daarbij geïnterpreteerd als de waarde van verschillende (hoge) percentielen.

Sinds 2016 is er meer informatie beschikbaar gekomen: er zijn meer emissiemetingen uitgevoerd bij meer stallen en diersoorten (zie Winkel e.a., 2018) en het model is verder uitgewerkt. Dat maakt dat er een update van de afstandscurven wenselijk is om het beleid goed af te stemmen op de meest recente inzichten.

> In een consortium van de Wageningse Universiteit (WUR), IRAS en Erbrink Stacks Consult zijn in de afgelopen jaren verder data verzameld om berekeningen van endotoxine concentraties in de buitenlucht nabij stallen te kunnen uitvoeren (Ogink, 2016). Ook in het kader van de RVG onderzoek is nieuw onderzoek in 2019 gerapporteerd. (Heederik e.a., 2019). Deze projecten hebben geleid tot een beter inzicht in de endotoxine emissies uit stallen met allerlei diersoorten en de verspreiding ervan in de buitenlucht. Inmiddels is een studie gaande die tot doel heeft middels omgevingsmetingen en stalmetingen de resultaten ervan verder te onderbouwen (Erbrink, e.a., 2019). In een eerste validatieslag (Erbrink en Winkel, 2019) werd al duidelijk dat het STACKS-verspreidingsmodel de meetwaarden (in PM10) gemiddeld gezien goed kon beschrijven. Een vraag daarbij is nog hoe goed het model presteert wanneer naar totaalstof (PM100) wordt gekeken. Daartoe lopen nog nadere validatieprojecten om hier antwoord op te geven.

Vooruitlopend op aanvullende validatiestudies heeft de provincie Noord-Brabant opdracht gegeven om de afstandscurven die in een eerder onderzoek zijn gevonden, te updaten op basis van de nieuwe inzichten zoals in het RVG rapport is verwoord.

Dat maakt dat in dit rapport verslag wordt gedaan van de berekeningen voor 10 relevante diersoorten. Het product bestaat uit afstandscurven waarbij is aangegeven wat de overschrijdingsafstand is bij een gegeven PM10 emissie voor een bepaalde diersoort. Voor leghennen, vleeskuikens en vleesvarkens betekent dit een update van de afstandscurven; voor de overige diersoorten (rundvee, paarden, geiten, zeugen, kalkoenen, eenden en biggen) worden de

curves voor het eerst opgezet. Het gaat erom dat er afstandscurven worden gemaakt waarbij per diersoort de afstand tot waar de 99,5percentiel nog wordt overschreden, wordt afgezet tegen de PM10 emissie. De PM10 emissie is immers geen vast gegeven per diersoort, het type stal en aanvullende maatregelen hebben immers ook een grote invloed op de PM10 emissie. De methodiek om deze curven vast te stellen is verfijnder dan is toegepast in de eerste versie van de afstandscurven uit 2016.

Met opmerkingen [WM1]: Graag toelichten waarom de 99,5 percentiel waarde is gekozen.

Hoofdstuk twee bespreekt de methodiek, hoofdstuk 3 de uitgangspunten en invoergegevens, hoofdstuk 4 de berekeningsresultaten, hoofdstuk 5 een korte discussie over de resultaten en welke onzekerheid hierbij in acht genomen moet worden en hoofdstuk 6 uiteindelijk enkele conclusies. De afstandscurven zelf staan in bijlagen vermeld.

2 De methodiek

2.1 Model aannamen

Met het verspreidingsmiddel STACKS zijn de concentraties rond geselecteerde stallen berekend. Het STACKS model is voor de berekeningen van endotoxine concentraties op een aantal punten gemodificeerd en uitgebreid, zoals in WUR rapport (Ogink, 2016) en in het RVG rapport is beschreven. De wijzigingen omvatten op hoofdpunten de volgende aspecten:

- Het aantal stofklassen is uitgebreid naar 10 (deeltjes grootten van 1-100 µm)
- Elke deeltjesklasse kent een unieke endotoxineconcentratie; de endotoxine verspreiding wordt berekend door de deeltjesmassa te vermenigvuldigen met deze endotoxine concentratie.
- Rekening wordt gehouden met pluimdaling door de uitzaksnelheid (voor grotere deeltjes) en tevens met de depositie door impactie en diffusie
- De emissie is voor 3 diersoorten afhankelijk gemaakt van de buitentemperatuur en/of tijdstip van de dag en ook de dag in de groeicyclus (bij vleeskuikens); met andere woorden: er is een variabele emissie ingebracht. De wijze waarop de variabele emissies zijn gemodelleerd, is beschreven in Erbrink en Verhees, 2015.
- Er wordt gerekend met een warmte emissie, die per stal berekend wordt uit het ventilatie debiet en de temperatuur die in de stal heerst. Daarbij wordt aangenomen dat er per stal één emissiepunt is.
- De afmetingen van de stal, de emissiehoogte en uittree-snelheid zijn identiek aan de waarden, vermeld in het RVG rapport en worden in dit rapport gedetailleerd weergegeven.
- Er wordt gerekend met gebouwinvloed, zoals gebruikelijk is in het STACKS model. Een bedrijf bestaat uit meerdere stallen, conform de opgaven die in het BVB zijn vermeld. De grootte van de gebouwen/stallen cluster is onderwerp van discussie geweest; het

aangegeven van de dimensies van individuele stallen is al een lastige bezigheid; voor clusters van stallen is dat evenmin goed mogelijk. Na beschouwing van stalclusters op Google earth en overleg met de ODZOB en WUR is besloten om de stalafmetingen te koppelen aan de dieraantallen en uit te gaan van gangbare oppervlakten per dier. Het totale oppervlak wordt dan ~~gewacht~~ verwacht een vierkant te zijn, zodat de lengte en breedte gemakkelijk is te bepalen door de wortel uit het stallen-cluster-oppervlak te nemen.

De beschikbare informatie over de verdeling van het endotoxine over de stof-deeltjesgroottes is nog steeds summier. De berekende concentratie in de lucht is erg gevoelig voor de depositiesnelheid, en dus van de aerodynamische eigenschappen van de deeltjes. Daarom wordt het verlies aan deeltjes door depositie meegenomen bij de berekeningen, omdat anders veel te hoge concentraties endotoxinen worden berekend. Depositieberekeningen van deeltjes hebben meer onzekerheid dan de verspreidingsberekeningen, zeker als de kenmerken van de verschillende deeltjes niet zo goed bekend zijn. De uitkomsten zijn daarom ook nu nog behept met een flinke onzekerheid. In de discussie wordt hier nader op ingegaan.

3 Invoergegevens

3.1 Stofgegevens

Omdat het endotoxine aan stof is gebonden, wordt de verspreiding ervan als stof uit stallen gemodelleerd. Het gaat dan niet alleen om PM10 (fijn stof), maar om totaal inhaleerbaar stof, dat voor een belangrijk deel uit grotere deeltjes (> 10 µm) bestaat. Voor de rekenmethode heeft dit twee belangrijke consequenties: 1) de deeltjesgrootteverdeling met de daarbij behorende endotoxineconcentraties moet bekend zijn en 2) de depositie van de (met name grotere) deeltjes moet in de concentratieberekeningen worden verrekend. Voor beiden zijn in de voorgaande studies (Ogink e.a., 2016 en RVG, 2019) onder het doen van een serie aannamen deeltjesgrootteverdelingen op basis van metingen beschikbaar gekomen. Deze verdelingen zijn ook toegepast voor de huidige berekeningen.

Voor de stofuitworp (PM10) worden de volgende RAV data gebruikt en voorts de PM10 emissies zoals die in de BVB data zijn gegeven. Voor vleeskuikens, leghennen en vleesvarkens is gerekend met een variabele emissie. Daarbij is uitgegaan van PM10 emissies van traditionele stallen zoals in de RAV data is aangegeven (zie de site van InfoMil) met als gemiddelde PM10 emissie:

- Vleeskuikens: 22 g/dier/jaar
- Leghennen: 65 g/dier/jaar

- Vleesvarkens: 153 g/dier/jaar.

Daarbij wordt ervoor gezorgd dat de gemiddelde emissie over een jaar weer op deze waarde uitkomt. Voor de andere diersoorten is uitgegaan van PM10 emissies, die in RAV tabellen zijn vermeld:
http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/ammoniak/rav/stalbeschrijvingen/).

In tabel 1 is aangegeven welke diersoort het betreft en de RAV code. Om onderscheid te maken tussen traditionele stallen en meer moderne stallen is onder de kolom emissie aangegeven welk PM10-emissie criterium er gebruikt wordt. De emissie waarmee gerekend is , staat dan in de laatste kolom.

Tabel 1. RAV code en 'standaard' PM10 emissie per diersoort.

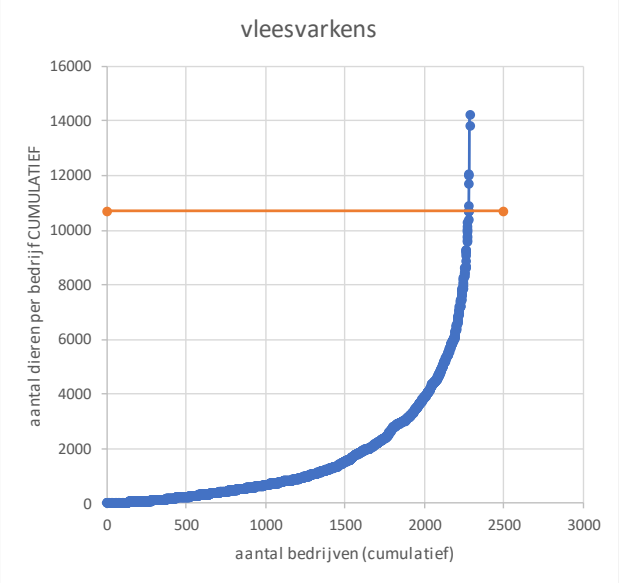
RAVcode	diercategorie	emissie	PM10 (g/dpl/jr)
E5	Vleeskuikens	E>20	22
E5	Vleeskuikens	E<20	17
E1,E2,E3,E4	leghennen	E>40	65
E1,E2,E3,E4	leghennen	E<40	23
D3	Vleesvarkens	E>150	153
D3	Vleesvarkens	E<150	31
D1.1	Biggen		74
D1.2	kraamzeugen		160
C	Geiten		19
F	vleeskalkoenen		23
G	Vleeseenden		84
A	Rundvee		148
K	Paarden		148
D1.3	dragende	zeugen	175

3.1.1 Stalafmetingen

Om een goede afstandcurve te kunnen opzetten is het nodig om met een aantal schaalgroottes te rekenen. Hiertoe worden 8 grootten genomen die worden gekozen op basis van wat in praktijk operationeel is. Uit de BVB data zijn daarvoor per diersoort de dieraantallen per bedrijf naar grootte gesorteerd. Een voorbeeld (voor vleesvarkens) is gegeven in figuur 1. Uit deze figuur zijn dan 8 dieraantallen geselecteerd, verdeeld over de curve. Voor dit voorbeeld (varkens) zijn dat vervolgens 966, 1860, 2772, 3569, 4483, 6159, 7637 en 10687 dieren, afgelezen op 1/8, 2/8, 3/8 etc tot 7/8 van de cumulatieve curve. Tenslotte is hier een laatste punt toegevoegd om recht te doen aan de grootste bedrijven. Deze komen dan wellicht slechts sporadisch voor, maar zijn wat

omvang betreft wel van belang en daarom als extreme bedrijfsomvang meegenomen. Deze procedure is ook gevolgd voor alle andere diersoorten.

Er is gezocht naar representatieve stalafmetingen per diersoort door dit na te vragen bij stalbouwers en omgevingsdiensten. De antwoorden hierop waren consequent dat dit niet goed mogelijk is. Daarom is er uiteindelijk voor gekozen de stalafmetingen af te leiden uit het aantal dieren en de (bruto) oppervlakte per dier met elkaar te vermenigvuldigen. Het resultaat is in tabel 2 vermeld.



Figuur 1. Cumulatieve frequentie van voorkomen van bedrijven met een omvang zoals op de y-as aangegeven.

Daarmee zijn de bedrijfsgrootten vastgelegd. De lengte en breedte van het bedrijf wordt eenvoudig berekend door de wortel uit het oppervlak te nemen. Daarmee is de gebouwgrootte als omhullende van het totaal aantal stallen bekend. Dit is nodig om bij de verspreidingsberekeningen het gebouweffect (downwash in het zog achter de stallen) te kunnen bepalen. Wat dan nog van belang is het aantal stallen per bedrijf voor die diersoorten waarbij de warmte emissie van belang is. De totale warmte emissie van een bedrijf wordt berekend door het ventilatiedebiet te vermenigvuldigen met het temperatuurverschil met de buitenlucht. Maar aangenomen wordt dat elke stal een eigen emissiepunt heeft, dus de warmte-emissie per stal is

dan de totale warmte-emissie gedeeld door aantal stallen. Dit is alleen het geval voor de diersoorten die in hoofdzaak een gesloten stalsysteem hebben, waardoor de ventilatielucht via duidelijk gedefinieerde emissiepunten naar buiten worden getransporteerd. Voor geiten, kalkoenen, eenden, paarden en koeien kan geen sprake van warmte-emissie zijn omdat de stallen een min of meer open verbinding met de buitenlucht hebben. De warmte emissie voor deze diersoorten is daarom steeds nul.

Tabel 2. Gekozen bedrijfs-schaalgroottes, oppervlakte per dier en aantal stallen/bedrijf.

diersoort	1	2	3	4	5	6	7	8	RAV		m2/dier
leghennen	39000	54919	70000	90743	110897	143632	188000	304512	E2		0,11
nstal	1	2	2	3	4	4	5	8			
vleeskuikens	44000	75000	103800	125000	153600	177290	227950		E5		0,05
nstal	1	2	3	3	4	4	5				
vleesvarkens	966	1860	2772	3569	4483	6159	7637	10687	D3		1.00
nstal	1	1	1	1	2	2	2	3			
biggen	1122	1756	2401	3085	4200	5544	8004	16608	D1.1		0,35
nstal	1	1	1	1	2	2	3	4			
zeugen	295	470	635	814	1052	1452	2184	4411	D1.2, D1.3		1,00
nstal	1	1	1	2	2	2	2	3			
rundvee	72	100	129	157	194	203	312	652	A1		9.00
paarden	18	29	40	50	69	92	162	329	K1,k2,k3		15.00
eenden	100	200	1000	2000	5000	10000	15000		G		0,11
geiten	1010	1310	1606	1886	2297	2925	3587	6020	C		1,3
kalkoenen	100	300	1000	2500	7000	15000	30000		F		0.30

De warmte emissie voor vleeskuikens, leghennen en vleesvarkens wordt berekend zoals ook in eerdere studies is gedaan, dus met een variabele emissie, beschreven in Erbrink en Verhees, (2012). Voor biggen en zeugen wordt de warmte emissie berekend door uit te gaan van een representatief debiet en een representatieve staltemperatuur.

Tenslotte zijn nog gegevens nodig voor de stalhoogte en de uittreesnelheid van de ventilatielucht. Deze parameters zijn in de RVG studie vastgelegd en worden ook hier gebruikt. In tabel 3 zijn alle parameters voor 16 diersoorten samengevat. In de eerdere studie waren 15 dier/stal-soorten gedefinieerd; nu zijn zeugen uitgesplitst in kraamzeugen en dragende zeugen. Dat is gedaan omdat zowel de staltemperatuur als de specifieke PM10 emissie verschillend zijn.

Voor de diersoorten waarbij de emissiehoogte hoger is dan de stalhoogte worden de coördinaten van het emissiepunt gelijk gesteld aan de coördinaten van de stal. Voor de stallen waarbij de emissiehoogte lager is dan de stalhoogte kan het emissiepunt niet in het midden van de stal gelegd worden: de gebouwroutine in STACKS geeft dan verkeerde resultaten terug. Voor deze stallen wordt het emissiepunt (dat dan op 1,5 m hoogte ligt) net buiten de stal gelegd, ten oosten van het stalmiddelpunt, net als in de vorige studie. De oriëntatie van de stal is gemakshalve op 0 gesteld. De verhouding PM100/PM10 is tenslotte ook opgenomen; dit is van

belang voor de endotoxine verspreidingsberekeningen. Het gaat immers om de verspreiding van totaal-stof en niet alleen van PM10. Alle parameters zijn samengevat in tabel 3.

Tabel 3. Stalparameters voor verspreidingsberekeningen.

diercat	diercategorie	hoogte	stal	opp/dier	Vs	Temp	debiet	PM100/PM10
1	Vleeskuik E>20	2	5	0.05	1	-99	-99	2.27
2	Vleeskuik E<20	5	5	0.05	3	-99	-99	2.27
3	leghenne E<40	6	5	0.11	3	-99	-99	2.5
4	leghenne E>40	2	5	0.11	1	-99	-99	2.5
7	Vleesvark E>150	6	6.5	1	4	-99	-99	3.13
8	Vleesvark E<150	6	6.5	1	3	-99	-99	3.13
9	Biggen	6	6.5	0.35	4	25	12	3.23
10	kraamzeugen	6	6.5	1	4	20	75	3.13
11	Geiten	4.5	4	1.3	0.5	-99	-99	2.93
12	vleeskalkoenen	1.5	5	0.3	0.5	-99	-99	2.27
13	Vleeseenden	1.5	5	0.11	0.5	-99	-99	2.5
14	Rundvee	5.5	5	9	0.5	-99	-99	16.67
15	Paarden	5.5	5	15	0.5	-99	-99	16.67
16	dragende zeugen	6	6.5	0.35	4	20	58	3.13

3.1.2 Overige invoerparameters

De ruwheidslengte waarmee is gerekend is 0.3 m; dat is een gemiddelde waarde voor de provincie Noord-Brabant (exclusief de steden en dorpen). De meteorologische periode voor de berekeningen is conform de eerdere studie gesteld op 5 jaar: van 2010 tot en met 2014.

De berekeningen zijn uitgevoerd met STACKS, versie 2019 en met de PreSRM van 2019. De PreSRM wordt hierbij gebruikt om de meteorologische parameters te bepalen: met name de stabiliteitsparameters van de atmosfeer en de grenslaaghoogte. Deze zijn bepaald voor het punt 152000, 397000: een locatie net ten zuiden van Boxtel. De uitkomsten zijn hier overigens nauwelijks gevoelig voor: de weersomstandigheden verschillen niet sterk van plaats tot plaats. De achtergrondconcentraties van PM10 (vanuit de Grootschalige Concentraties in Nederland: de GCN) spelen bij deze berekeningen geen rol. In de vorige studie is gerekend met receptorpunten ten oosten van de stal. In deze studie wordt meer verfijnd de hele windroos doorgerekend en de resultaten gewogen-gemiddeld tot één waarde per afstand. Dit wordt bereikt door een radiaal receptorrooster te definiëren met 12 stralen met op elke straal rekenpunten tot 6750 m afstand. De afstanden op elke straal zijn: 55, 80, 125, 180, 250, 400, 600, 900, 1350, 2000, 3000, 4500 en 6750 m; in totaal dus 12*13 = 156 rekenpunten. Op elke afstand worden de

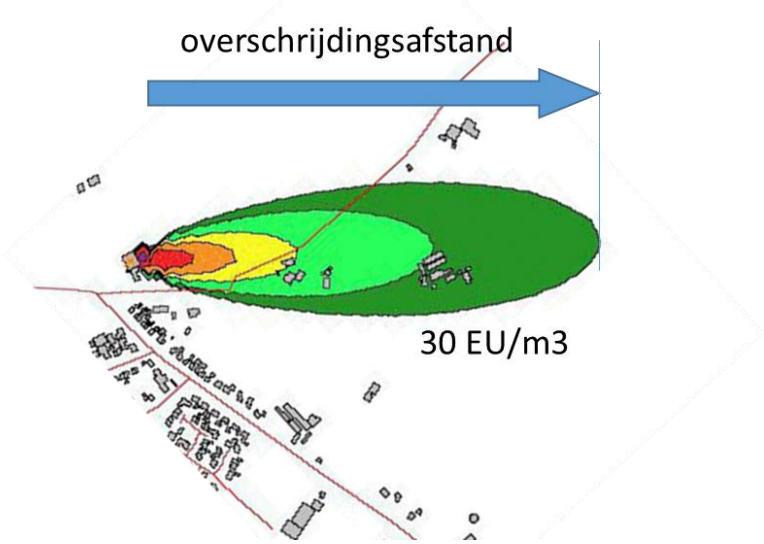
berekeningsresultaten gewogen gemiddeld met de frequentie van voorkomen van de windrichting als weegfactor. Op deze wijze wordt een windroos-gemiddelde waarde verkregen per afstand, dit is beter dan een curve te maken voor 1 windrichting.

4 Berekeningsresultaten

Als resultaat worden percentielwaarden gegeven. Conform de werkwijze in de eerdere studie naar endotoxine concentraties, worden steeds percentielen van 4-uur gemiddelde waarden gepresenteerd: eerst worden steeds tijdsblokken van 4 uren gemiddeld en hiervan wordt de overschrijdingskans berekend.

Voor endotoxinen is een grenswaarde van 30 EU/m^3 gesteld. De Gezondheidsraad heeft daarbij niet aangegeven of dit een absolute norm is (die nooit mag worden overschreden) of dat er sprake kan zijn van een (heel) beperkte tijd waarbinnen de norm niet mag worden overschreden. In de eerdere studies is steeds gekozen voor het 99.5-percentiel. Dat wil zeggen dat in niet meer dan 10 vier-uurgemiddelde perioden in de 5 jaar de grenswaarde mag worden overschreden.

De berekeningsresultaten worden gepresenteerd in overschrijdingsafstanden (figuur 2): dat zijn de afstanden tot waar de waarde van het betreffende percentiel nog wel wordt overschreden.



Figuur 2. Overschrijdingsafstand: de afstand tot waar de percentielwaarde van 30 EU/m^3 wordt overschreden. In de figuur: concentratiecontouren ten oosten van een stal.

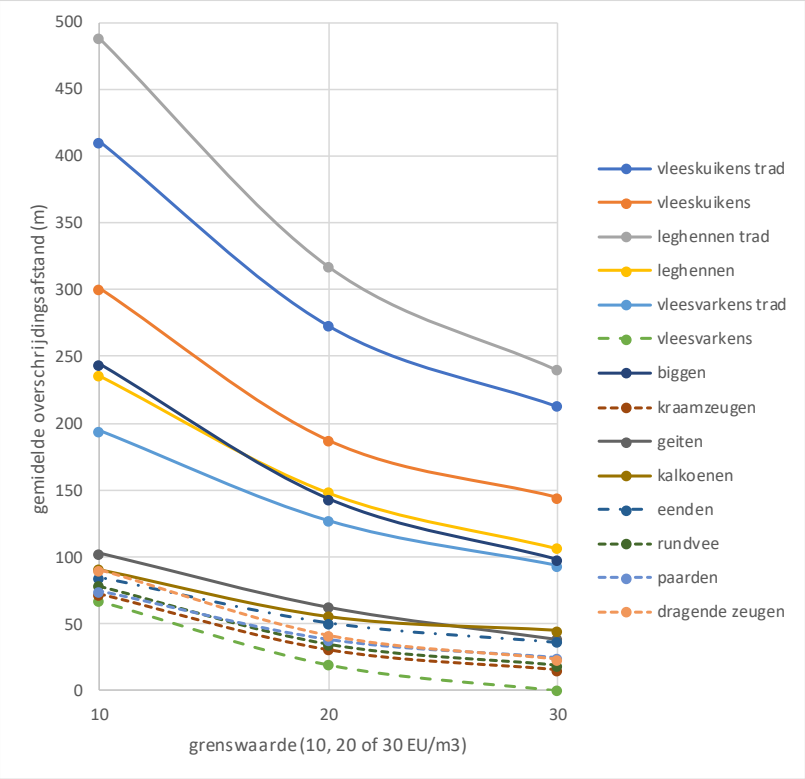
Deze afstand is bepaald door de berekende percentielwaarden voor de individuele receptorpunten te beschouwen en dan lineair te interpoleren tussen de twee afstanden waarvoor de berekende endotoxine concentratie respectievelijk onder en boven een bepaalde waarde ligt. In afwijking van de eerdere studie wordt de overschrijdingsafstand nu in tabellen gegeven voor 3 niveaus van het 99,5-percentiel: 10, 20 en 30 EU/m^3. Voor alle diersoorten zijn de resultaten in bijlage A gegeven. De afstandscurven (overschrijdingsafstand A tegen de overeenkomstige PM10 emissie) zijn steeds goed te fitten met de formule: A = a *Ln(PM10) - b. PM10 emissie is uitgedrukt in kg/jaar per bedrijf. Dit is gedaan voor het endotoxineniveau van 30 EU/m^3. In tabel 4 zijn de waarden van a en b voor de verschillende diersoorten gegeven.

Tabel 4 waarden van a en -b voor de afstandscurven: overschrijdingsafstand versus PM10 emissie (in kg/jaar).

diercat	diercategorie		a	-b
1	Vleeskuikens	E>20	114.1	682
2	Vleeskuikens	E<20	78.9	453
3	leghennen	E<40	76.6	489
4	leghennen	E>40	120.8	824
7	Vleesvarkens	E>150	72	364
8	Vleesvarkens	E<150	0	0
9	Biggen		80.9	359
10	kraamzeugen		63.9	336
11	Geiten		57.6	176
12	vleeskalkoenen		61	249
13	Vleeseenden		55.7	285
14	Rundvee		58.5	183
15	Paarden		58.9	126
16	dragende	zeugen	52.5	258

In bijlage B zijn alle afstandscurven gegeven, waarbij ook de kwaliteit van de fit in r^2 is uitgedrukt.

In figuur 3 is de gemiddelde overschrijdingsafstand per diersoort gegeven. Er is daarbij gewoon gemiddeld over de 7 of 8 schaalgrootten. Dit geeft een indruk over de mate van beïnvloeding rond een stal, wanneer naar endotoxinen wordt gekeken. Tevens laat het zien wat het effect is van de keuze van andere grenswaarde dan 30 EU/m^3: 10, 20 of 30. Wanneer niet 30 maar 20 als grenswaarde gekozen wordt, neemt de gemiddelde overschrijdingsafstand (gemiddeld over alle diersoorten) met 37% toe, van 30 naar 10 is de toename 225%. In oppervlak rond een stal is dat respectievelijk bijna een factor 2 en een factor 5.



Figuur 3. Overschrijdingsafstand naar diersoort; gemiddeld over de 8 schaalgrootten; afhankelijk van de gekozen grenswaarde (10, 20 of 30 EU/m^3 als 99,5 percentiel).

5 Bespreking resultaten

De berekende overschrijdingsafstanden zijn in lijn met de waarden van de eerdere studie (Erbrink, 2016). Bij een nauwkeurige vergelijking zal de lezer wel verschillen waarnemen. Deze zijn voornamelijk veroorzaakt doordat de emissies nu zijn uitgebreid van 47 naar 60 stal-metingen. Bovendien is de berekening van de afstandsgrafiek nu gebaseerd op de hele windroos.

Net als in de eerdere studie geven ook hier de resultaten voor de leghennen (nu de nummer 1) en vleeskuikens de grootste overschrijdingsafstanden. Voor een gemiddelde stal met leghennen of vleeskuikens is de overschrijdingsafstand in de orde van 200 m; voor vleesvarkens en biggen is dit de helft en voor de andere diersoorten (veel) minder dan 50 m. Voor grotere stallen (dan

gemiddeld) neemt de overschrijdingsafstand duidelijk toe, en het zijn dan ook de grotere stallen waar het beleid zich op zou kunnen richten.

Vleesvarkens met een stalsysteem waar een lage PM10 bij hoort (PM10 emissie 31 g/dpl/jaar) laten zien dat het niveau van 30 EU/m^3 nergens overschreden wordt.

In een aantal gevallen is in de curven een kleine terugval te zien in overschrijdingsafstand. Dat lijkt onlogisch, maar is verklaarbaar uit het verschil in aantal stallen: deze gaat op dat punt met 1 omhoog. Het gevolg is dat de initiële verspreiding door de stallen groter is met als gevolg iets lagere concentraties. Dit is dus het gevolg van de wijze waarop het model het gebouweffect verrekent. Als het aantal dieren weer verder toeneemt, neemt ook de overschrijdingsafstand weer toe.

De resultaten kunnen niet als absoluut geïnterpreteerd worden. Hoewel de overschrijdingsafstanden in meters zijn gegeven, wil dat niet zeggen dat dit de nauwkeurigheid weerspiegelt. Er is een flink aantal bronnen van onzekerheid die achter de resultaten schuil gaat. In de eerste plaats de emissiegegevens van de stallen zelf. Hoewel deze met veel zorg zijn bepaald, is het aantal stallen nog steeds beperkt in vergelijking met de spreiding tussen de stallen. Voorts is de geometrie van de stallen heel generiek genomen: in praktijk zullen er flinke verschillen zijn in lengte-breedte verhoudingen. Verder zijn ook de uittreesnelheid en de warmte emissie heel gemiddeld genomen: het is niet goed bekend hoe deze in praktijk kunnen variëren. De warmte emissie zelf is nog een bron van discussie. Uit een validatiestudie op endotoxine in PM10 (Heederik, e.a. 2019, eerste deelrapport) bleek toepassing van de warmte emissie de bias tussen metingen en modeluitkomsten prima op te lossen. Het is echter allerminst zeker dat de warmte emissie echt de verklarende parameter is om metingen en modeluitkomsten bij elkaar te brengen. Bij veel stallen wordt de ventilatielucht immers niet uit één puntbron geëmitteerd, maar uit meerdere ventilatieopeningen.

Dan is nog een opmerking op zijn plaats over de betrouwbaarheid van de modeluitkomsten voor stalvormen in het algemeen. In het rekenmodel is een module aanwezig die het effect van gebouwen op de verspreiding bepaalt, de zogenaamde gebouwmodule. Deze is strikt genomen alleen geldig (en dan nog benaderend) voor rechthoekige gebouwen. Stallen wijken van deze vorm af en het is niet goed bekend wat hiervan de invloed is. Wellicht werkt dit concentratie verhogend doordat de ventilatielucht versneld naar de grond wordt gevoerd, maar het is ook denkbaar dat de schuine daken juist concentratie verlagend werken door een grotere initiële dispersie en dus ook verhoging van de gemiddelde pluimhoogte. Windtunnel experimenten geven hier wellicht aanwijzingen voor (zie bv: https://www.youtube.com/watch?v=UEgk2Bqz16s). In onderzoek dat nog gaande is, wordt hier nader op ingegaan.

Referenties

Ogink, N.W.M., Erbrink, J.J., D.J.J. Heederik, A. Winkel en I.M. Wouters, 2016. Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: emissiemetingen en verspreidingsmodellering. WUR Rapport 959. Wageningen, The Netherlands.

Erbrink, J.J. en Verhees, L., 2015. Effect van meer realistische warmte emissies en variabele stofemissies op de PM10, geur en NH3 concentraties bij pluimveehouderijen. DNV-KEMA rapport 74102439-CES/ECS 13-2539.

Erbrink, 2016. Endotoxine concentraties rond stallen: indicatieve modelberekeningen. ESC Rapport 2020R003, april 2016.

Hans Erbrink en Albert Winkel, 2019. Validatie Endotoxine model bij een kippenstal in Friesland. ESC Rapport 2019R011, oktober 2019.

Gezondheidsraad (2012). Gezondheidsrisico's rond veehouderijen. Publicatie 2012/27. Den Haag: Gezondheidsraad.

Dick Heederik, Hans Erbrink, Azadeh Farokhi, Thomas Hagenaars, Gerard Hoek, Nico Ogink, Myrna de Rooij, Lidwien Smit, Albert Winkel, Inge Wouters, 2019. Risicomodellering veehouderij en gezondheid (RVG): modellering van regionale endotoxineconcentraties en relaties met gezondheidseffecten. Rapport nummer: IRAS UU 2019-01 / WBVR-1910304.

A. Winkel, J.J. Erbrink, I.M. Wouters, J.H.W. Huis in 'T Veld, D.J.J. Heederik en N.W.M. Ogink, 2018. Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: eindrapport endotoxine metingen. WUR, Livestock Research Rapport 1092, oktober 2018.

Bijlage A. Tabellen met Overschrijdingsafstanden

In de navolgende tabellen zijn steeds de overschrijdingsafstanden getabelleerd voor het niveau 10 EU/m^3, 20 en 30 EU/m^3 als 99,5 percentiel van 4 uurgemiddelde waarden.

aantal dieren vleeskuikens	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3	aantal dieren vleeskuikens (E<40)	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3
	(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)		(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)
44000	968	113	141	215	44000	748	77	96	152
75000	1650	158	196	271	75000	1275	108	135	214
103800	2284	200	247	386	103800	1765	130	172	270
125000	2750	215	270	399	125000	2125	146	185	305
153600	3379	242	327	491	153600	2611	163	212	347
177290	3900	250	343	519	177290	3014	176	232	375
227950	5015	311	387	594	227950	3875	211	277	441

aantal dieren leghennen	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3	aantal dieren leghennen (E<40)	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3
	(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)		(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)
39000	2535	129	167	244	39000	897	20	68	118
54919	3570	169	215	332	54919	1263	68	102	155
70000	4550	193	244	377	70000	1610	87	114	171
90743	5898	219	283	419	90743	2087	87	134	206
110897	7208	248	336	495	110897	2551	110	156	235
143632	9336	288	370	560	143632	3304	141	177	280
188000	12220	279	381	615	188000	4324	162	206	328
304512	19793.28	395	544	863	304512	7004	179	229	390

aantal dieren vleesvarkens	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3
	(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)
966	148	0	44	85
1860	285	47	72	119
2772	424	71	101	152
3569	546	76	107	160
4483	686	104	130	205
6159	942	122	158	229
7637	1168	149	179	266
10687	1635	177	224	340

aantal dieren vleesvarkens (E<150)	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3
	(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)
966	30	0	0	0
1860	58	0	0	21
2772	86	0	0	34
3569	111	0	0	35
4483	139	0	20	86
6159	191	0	35	96
7637	237	0	60	117
10687	331	0	40	146

aantal dieren biggen	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3
	(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)
1122	83	18	57	111
1756	130	39	71	129
2401	178	54	81	148
3085	228	66	96	164
4200	311	101	140	237
5544	410	114	158	268
8004	592	157	214	363
16608	1229	235	330	533

aantal dieren kraamzeugen	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3
	(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)
295	47	0	0	0
470	75	0	0	21
635	102	0	0	40
814	130	0	0	54
1052	168	0	17	73
1452	232	0	41	89
2184	349	39	69	119
4411	706	85	116	179

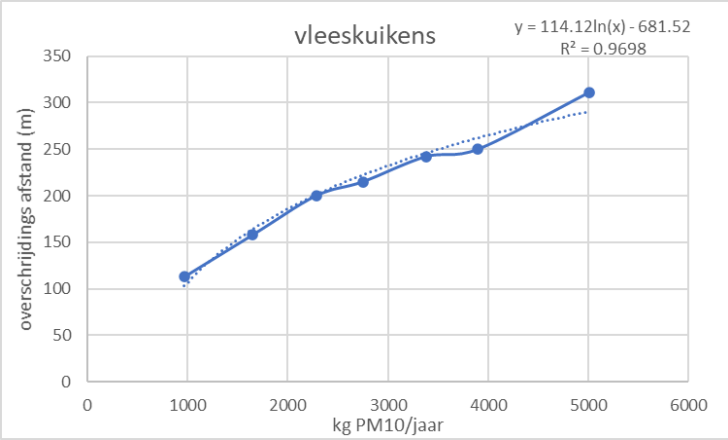
aantal dieren geiten	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3
	(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)
1010	19	0	10	60
1310	25	0	34	72
1606	31	17	48	79
1886	36	31	57	91
2297	44	45	67	104
2925	56	54	76	117
3587	68	66	89	124
6020	114	96	118	172

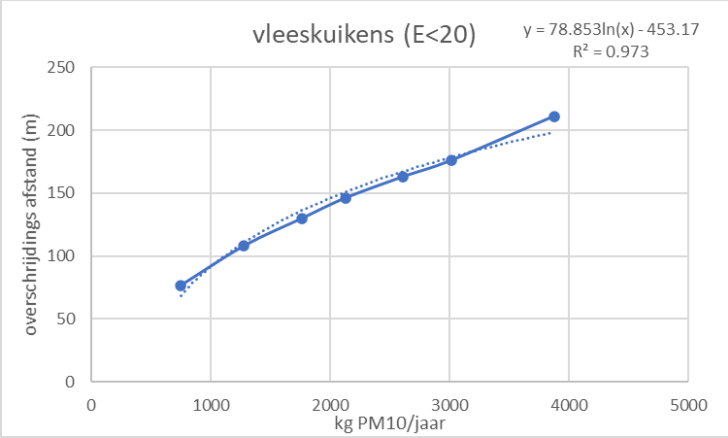
aantal dieren vleeskalkoenen	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3
	(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)
100	2	0	0	0
300	7	0	0	0
1000	23	0	0	0
2500	58	0	8	61
7000	161	59	76	118
15000	345	103	123	180
30000	690	153	181	277

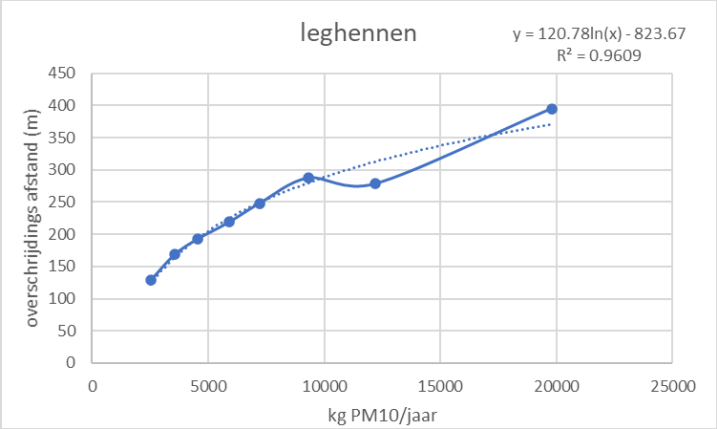
aantal dieren vleeseenden	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3	aantal dieren rundvee	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3
	(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)		(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)
100	8	0	0	0	72	11	0	0	21
200	17	0	0	0	100	15	0	0	45
1000	84	0	0	28	129	19	0	6	60
2000	168	0	24	67	157	23	0	25	69
5000	420	54	73	113	194	29	5	41	78
10000	840	84	112	166	203	30	10	45	79
15000	1260	116	146	216	312	46	47	69	109
					652	96	86	89	165

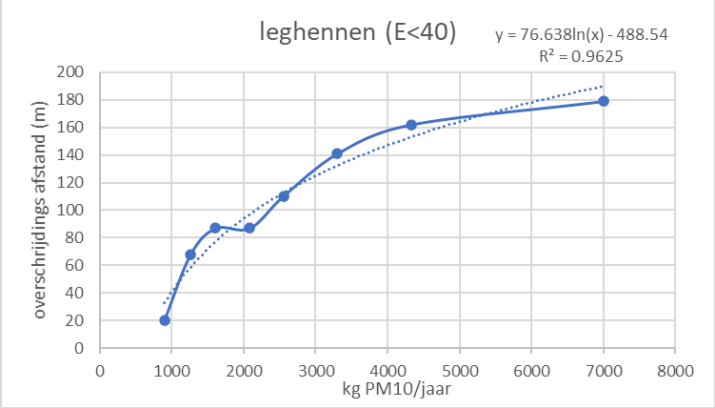
aantal dieren paarden	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3	aantal dieren dragende zeugen	PM10	afstand-30 EU/m3	afstand 20 EU/m3	afstand 10 EU/m3
	(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)		(kg/bedrijf/jr)	(m)	(m)	(m)
18	3	0	0	0	295	52	0	0	13
29	4	0	0	25	470	82	0	0	44
40	6	0	0	48	635	111	0	0	59
50	7	0	9	60	814	142	0	20	68
69	10	0	36	73	1052	184	6	45	88
92	14	27	55	87	1452	254	29	60	106
162	24	64	80	121	2184	382	57	80	137
329	49	103	123	179	4411	772	94	123	205

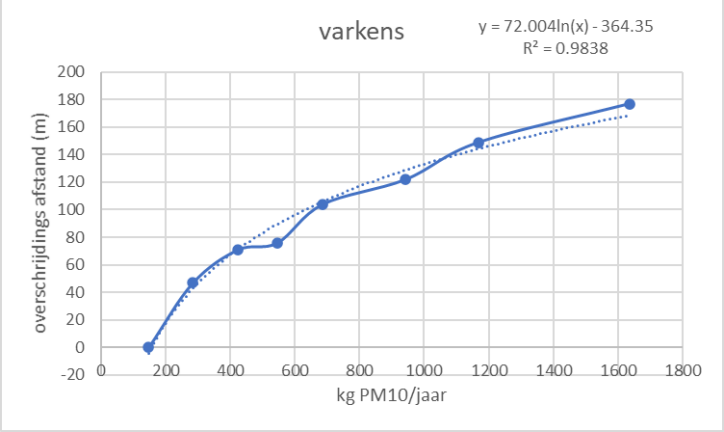
Bijlage B. Overschrijdingsafstanden: de curven

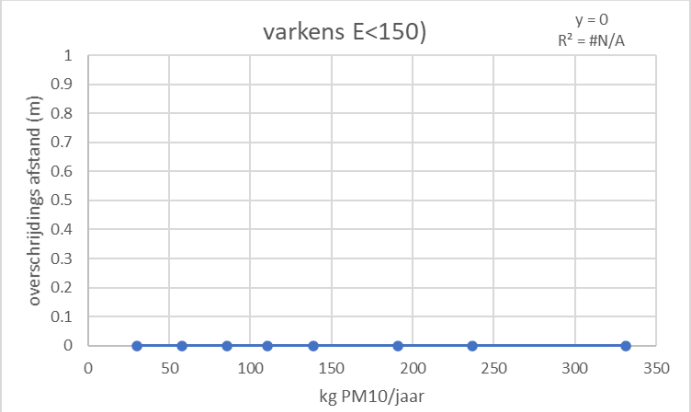


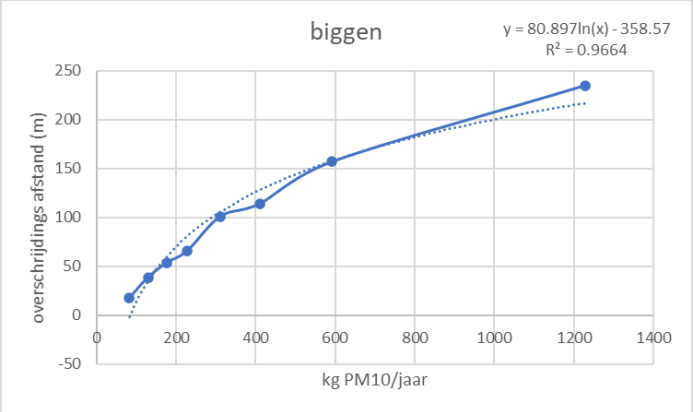


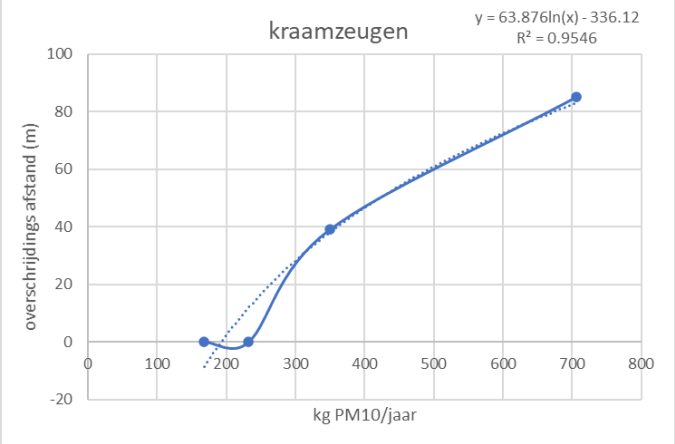

leghennen
y = 120.78ln(x) - 823.67
R² = 0.9609
overschrijdings afstand (m)
kg PM10/jaar

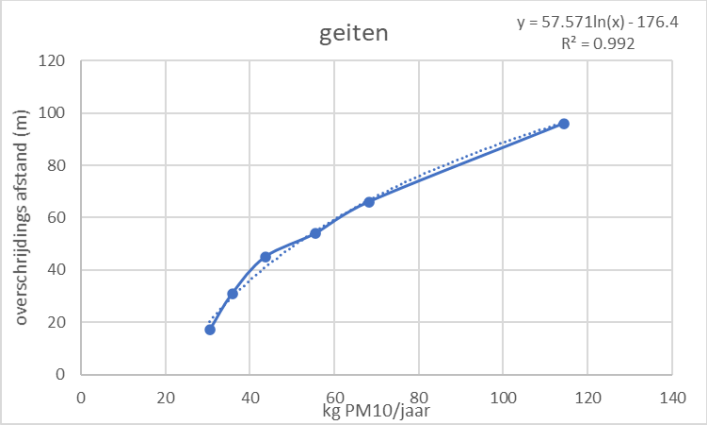

leghennen (E<40)
y = 76.638ln(x) - 488.54
R² = 0.9625
overschrijdings afstand (m)
kg PM10/jaar

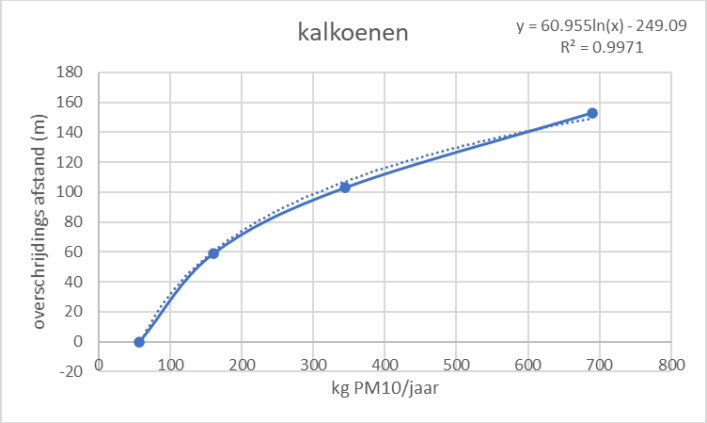

varkens
y = 72.004ln(x) - 364.35
R² = 0.9838
overschrijdings afstand (m)
kg PM10/jaar

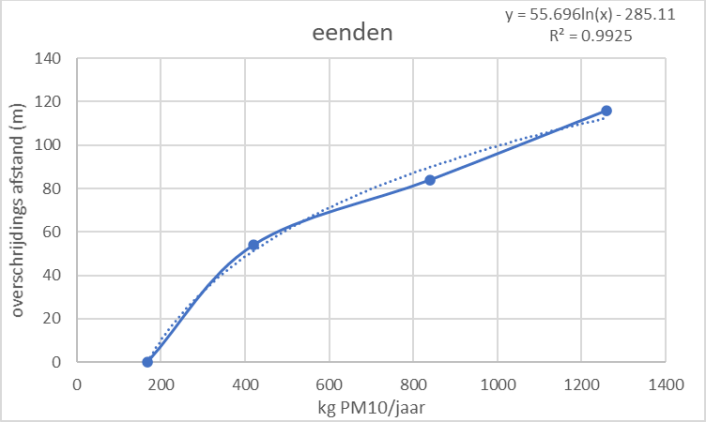

varkens E<150)
y = 0
R² = #N/A
overschrijdings afstand (m)
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
50
100
150
200
250
300
350
kg PM10/jaar

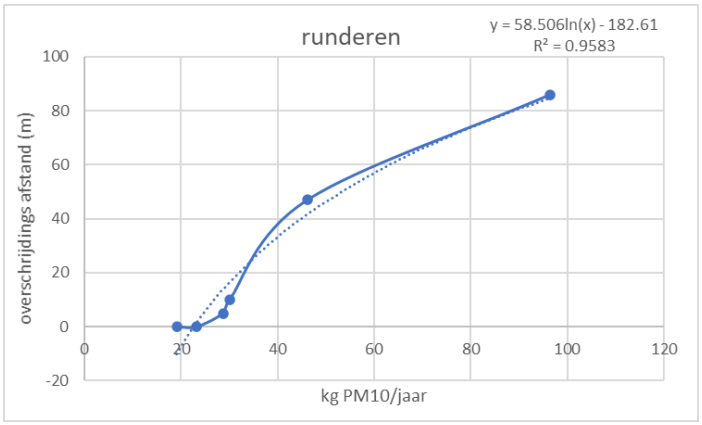

biggen
y = 80.897ln(x) - 358.57
R² = 0.9664
overschrijdings afstand (m)
250
200
150
100
50
0
-50
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
kg PM10/jaar

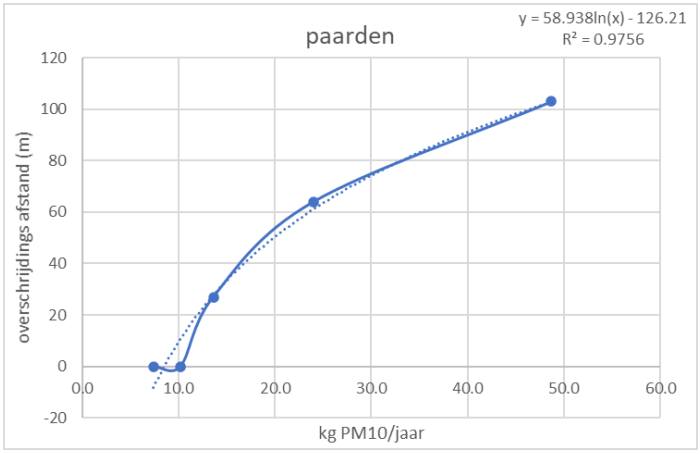

kraamzeugen
y = 63.876ln(x) - 336.12
R² = 0.9546
overschrijdings afstand (m)
100
80
60
40
20
0
-20
0
100
200
300
400
500
600
700
800
kg PM10/jaar

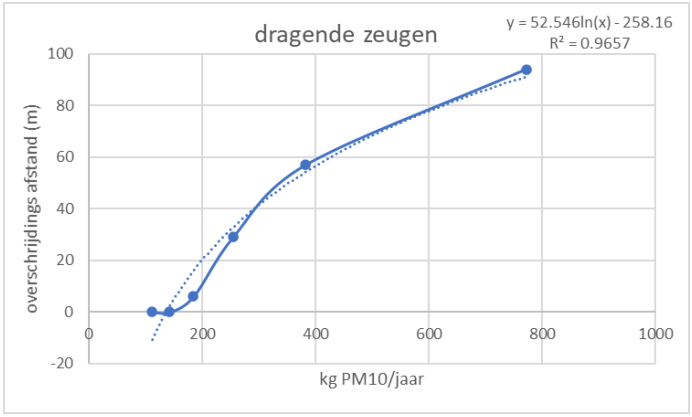

geiten
y = 57.571ln(x) - 176.4
R² = 0.992
overschrijdings afstand (m)
kg PM10/jaar


kalkoenen
y = 60.955ln(x) - 249.09
R² = 0.9971
overschrijdings afstand (m)
kg PM10/jaar


eenden
y = 55.696ln(x) - 285.11
R² = 0.9925
overschrijdings afstand (m)
kg PM10/jaar


runderen
y = 58.506ln(x) - 182.61
R² = 0.9583
overschrijdings afstand (m)
kg PM10/jaar


paarden
y = 58.938ln(x) - 126.21
R² = 0.9756
overschrijdings afstand (m)
kg PM10/jaar


dragende zeugen
y = 52.546ln(x) - 258.16
R² = 0.9657
overschrijdings afstand (m)
kg PM10/jaar