Endotoxine concentraties rond stallen: indicatieve modelberekeningen

Rapport 2016R003

5 september 2016

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
2.2 Invoergegevens 7
2.2.1 Stofgegevens 7
2.2.2 Stalafmetingen 8
2.2.3 Overige invoerparameters 10
3 Berekeningsresultaten **12**
4 Bespreking resultaten **16**
5 Conclusies **19**
Bijlage A. Overschrijdingsafstanden: staafdiagrammen **20**
Bijlage B. Overschrijdingsafstanden vs dieraantallen **23**
Bijlage C. PM10 concentraties over de lijn west-oost **25**

Samenvatting

Onder coördinatie van de Wageningse Universiteit (WUR) zijn in samenwerking met IRAS indicatieve berekeningen van endotoxine concentraties in de buitenlucht nabij stallen uitgevoerd (Ogink, 2016). Doel hiervan was af te tasten of de vigerende buitenluchtnormen voor PM10 en geur al voldoende bescherming bieden tegen overschrijding van de recent door de Gezondheidsraad geadviseerde endotoxinegrenswaarde van 30 endotoxine eenheden (EU/m^3) (Gezondheidsraad, 2012). De conclusie was dat de endotoxinegrenswaarde bij individuele pluimveehouderijen, afhankelijk van de lokale situatie, zeker overschreden wordt en dat nader onderzoek gewenst is. Het onderzoek ging niet in op de cumulatie van endotoxine van veehouderijen. De cumulatie van endotoxine en de daarmee samenhangende gezondheidseffecten worden nader onderzocht in een aanvullend onderzoek dat in de loop van 2017 wordt gepubliceerd. Volgens de onderzoekers kunnen, door cumulatie uit meerdere stallen, ook andere diercategorieën dan pluimvee een overschrijding van de endotoxinegrenswaarde van 30 EU/m^3 veroorzaken.

De conclusie was gebaseerd op metingen en berekeningen aan stallen met vleeskuikens, leghennen en vleesvarkens; en dan voor twee schaalgrootten.

De Provincie Noord-Brabant heeft opdracht gegeven om deze berekeningen op dezelfde wijze, dus met dezelfde aannamen en rekenmethoden, uit te breiden voor meer schaalgrootten. Daarom zijn in dit rapport de resultaten gepresenteerd van indicatieve berekeningen aan 8 schaalgrootten, die zijn vertaald naar aantallen dieren en aantallen stallen per bedrijf. Ook nu is gerekend met òf een constante PM10-emissie voor alle uren in het jaar (zoals gebruikelijk is), òf met een meer realistische variabele PM10-emissie. De resultaten zijn in lijn met de resultaten van het boven genoemde WUR-rapport.

De belangrijkste conclusies van deze studie zijn:

- De grootste overschrijdingsafstanden gelden voor de vleeskuikens met variabele emissie: hierbij is de emissie per uur afhankelijk gemaakt van het tijdstip in de groeicyclus en van de buitentemperatuur.
- De situatie met leghennen en een variabele emissie levert juist iets kleinere overschrijdingsafstanden op ten opzichte van rekenen met een constante emissie.
- De toename van de overschrijdingsafstanden van de endotoxinegrenswaarde (30 EU/m^3) met toenemend aantal dieren per bedrijf gaat niet lineair: er is sprake van afvlakking. Dit lijkt niet te gelden voor de situatie met vleeskuikens en variabele emissie: daar is de toename min of meer lineair met dieraantallen.

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 reacties 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 (WUR, 2015) 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 twee schaalgrootten van bedrijven. De norm van 30 EU/m^3 is daarbij geïnterpreteerd als de waarde van verschillende (hoge) percentielen. De berekende overschrijdingsafstanden zijn vergeleken met die van geur en van PM10. De vraag hierbij was of bestaande PM10- en geurnormen al voldoende bescherming bieden. De onzekerheid in de berekende endotoxinen niveaus was in deze studie tamelijk groot. Dit wordt veroorzaakt door dat er relatief weinig metingen beschikbaar zijn van endotoxine concentraties aan stof. Bovendien is de stofuitworp uit stallen zelf een complexe zaak: het gaat namelijk niet alleen om PM10, maar om totaalstof en dan ook nog om de deeltjesgrootteverdelingen in combinatie met het endotoxinegehalte en het aerodynamisch gedrag van de deeltjes in de buitenlucht. De conclusie luidde evenwel dat de huidige PM10- en geuremissienormen bij pluimveebedrijven (vleeskuikens en leghennen) niet voldoende beschermend zijn tegen het overschrijden van de gestelde endotoxinegrenswaarde (30 EU/m^3).

Nader onderzoek is in 2016 gestart om de onzekerheid in de bevindingen te kunnen verkleinen en om een instrument nader uit te werken dat voorziet in aanvullende endotoxine-normering.

In aanvulling op de door de WUR gerapporteerde niveaus van endotoxinen voor twee schaalgrootten van bedrijven van deze diersoorten heeft de provincie Noord-Brabant opdracht gegeven om voor meer bedrijfsgrootten de endotoxinen niveaus te berekenen onder dezelfde aannamen als die in het eerdere onderzoek (Ogink, 2016) zijn gedaan. Voor de berekende afstanden tot waar de endotoxine-grenswaarde wordt overschreden (voor een bepaald percentiel) zijn tevens de jaargemiddelde PM10 concentraties gegeven ten gevolge van de stalemissies.

Dit rapport bevat de resultaten van deze aanvullende berekeningen.

2 De aanpak

2.1 Model aannamen

Met het verspreidingsmiddel STACKS (versie 2015) 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) is beschreven. De wijzigingen omvatten op hoofdpunten de volgende aspecten:

- Het aantal stofklassen is uitgebreid naar 10 (deeltjes grootten van 1-100 µm)
- Elke deeltjes klasse kent een unieke endotoxine concentratie, endotoxine verspreiding wordt berekend aan de deeltjesmassa maal deze endotoxine concentratie.
- Rekening wordt gehouden met pluimdaling door de uitzaksnelheid (voor grotere deeltjes)
- De emissie is (als optie) afhankelijk gemaakt van de buitentemperatuur en/of tijdstip van de dag en de dag in de groeicyclus (bij vleeskuikens); met andere woorden: er is een variabele emissie ingebracht.

De details van deze aanpassingen zijn beschreven in WUR-rapport (Ogink, 2016). De wijze waarop de variabele emissies zijn gemodelleerd, is beschreven in Erbrink en Verhees, 2015.

De beschikbare informatie over de verdeling van het endotoxine over de stof-deeltjesgroottes is erg summier. De berekende concentratie in de lucht is erg gevoelig is voor de depositiesnelheid, en dus van de aerodynamische eigenschappen van de deeltjes. Daarom moet het verlies aan deeltjes door depositie zeker meegenomen worden 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 behept met een flinke onzekerheid. In WUR-rapport (Ogink, 2016) is hierover al gerapporteerd; in de discussie van de resultaten wordt hier nog kort op ingegaan. Kortom: de uitkomsten moeten met enige voorzichtigheid worden beschouwd en als indicatief worden gezien.

2.2 Invoergegevens

2.2.1 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 studie (Ogink, 2016) onder het doen van een serie aannamen deeltjesgrootteverdelingen op basis van (wel recente, doch beperkte) metingen beschikbaar. Deze verdelingen zijn ook toegepast voor de huidige berekeningen.

Voor de stofuitworp (PM10) worden de volgende RAV data gebruikt (zie de site van InfoMil: http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/ammoniak/rav/stalbeschrijvingen/):

- Vleeskuikens: 22 g/dier/jaar
- Leghennen: 65 g/dier/jaar
- Vleesvarkens: 153 g/dier/jaar.

Door de provincie is een aantal PM10 emissies (8 niveaus per diersoort) gegeven.

Endotoxinen zijn niet alleen aan PM10 maar ook aan grotere (inhaleerbare) deeltjes gebonden. Daarom worden de PM10 emissies intern in het model door vertaald naar totaal stofemissies (zie WUR rapport 959). De totaalstof emissies zijn (aanzienlijk) hoger dan de PM10 emissies. Het aandeel deeltjes groter dan PM10 (tot 100 µm) is in sommige gevallen tientallen procenten van het totaal stof. Bovendien bevatten de grotere deeltjes een hoger gehalte aan endotoxine zodat deze dus niet verwaarloosd kunnen worden.

Er is gerekend met twee emissie-varianten: één met de emissies van de stallen als een constante waarde (de RAV waarde) en één waarbij de emissie afhankelijk is van de buitentemperatuur en/of tijdstip van de dag en dag in de groeicyclus (vleeskuikens). Deze variatie is berekend zoals beschreven in Erbrink en Verhees, 2015.

Voor vleesvarkens is uit de beschikbare informatie geen aanleiding gevonden om de stofemissies afhankelijk van de groeicyclus te maken. Voor geur en ammoniak is dat wel min of meer mogelijk, voor pm10 niet. Daarom is voor vleesvarkens alleen gerekend met een constante emissie, conform de werkwijze in de eerdere studie naar endotoxine concentraties in de omgeving van stallen. In deze eerdere studie is een tevens gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarin gekozen is voor meer spreiding in de (uurlijkse) stofemissies. Immers: de stofemissies zullen zich niet steeds gedragen

volgens de algoritmes voor de emissievariatie; er is sprake van variantie om de berekende waarde. In de onderhavige studie is niet met deze variantie gerekend.

In de situaties met vleeskuikens dat er meerdere stallen per bedrijf zijn, wordt voor de aangenomen dat de groeicycli in alle stallen dezelfde zijn, met andere woorden: de stallen worden alle op hetzelfde moment met kuikens gestart en geruimd. Voor vleesvarkens geldt dat de groeicycli in de stallen onafhankelijk van elkaar zijn gemodelleerd, in deze berekeningen is dus geen sprake van synchronisatie tussen stallen.

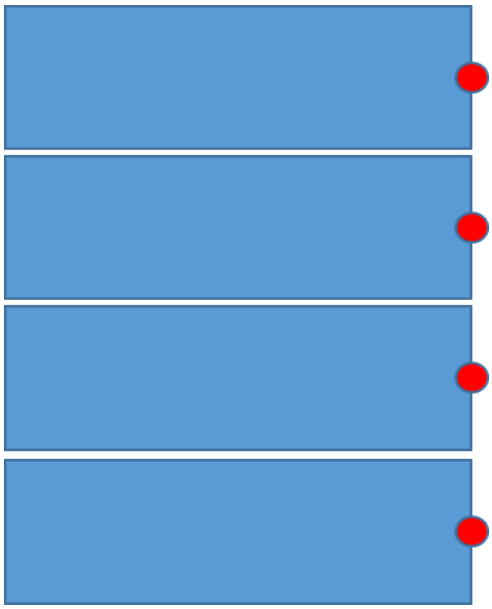
2.2.2 Stalafmetingen

De afmetingen van stallen kunnen in praktijk uiteraard variëren: er is geen "standaard" stal. Toch zijn in praktijk globale afmetingen gangbaar; voor de berekeningen zijn de volgende gemiddelde afmetingen gebruikt:

- Voor vleeskuikens: 100 x 30 m, hoogte 5 m, emissiehoogte 1.5 m
- Voor leghennen: 100 x 30 m, hoogte 5 m, emissiehoogte 1.5 m
- Voor vleesvarkens 80 x 40 m, hoogte 6 m, emissiehoogte 6.5 m

Voor vleeskuikens en leghennen is de uitstroomopening voor de ventilatielucht vaak horizontaal gericht. Hoewel de horizontaal gerichte uitstroming misschien fors kan zijn is de verticale component van de ventilatiesnelheid te verwaarlozen. In het model wordt hiervoor dan een waarde van 0.4 m/s genomen. Voor de modelberekeningen is aangenomen dat deze zich steeds op de korte kant van de stal bevindt. Voor de vleesvarkens wordt aangenomen dat de uitstroming van de ventilatielucht verticaal geschiedt (met een snelheid van 4 m/s), ook aan de korte kant van de stal. De capaciteit van een stal is uiteraard beperkt; voor bedrijven met de grotere aantallen dieren wordt daarom gerekend met meerdere (identieke) stallen die naast elkaar zijn gelegen. Zo wordt er bijvoorbeeld voor de situatie met ongeveer 220000 vleeskuikens met 4 stallen gerekend, die geclusterd zijn zoals in figuur 1 aangegeven.

De stal oriëntatie is steeds west-oost gekozen, dat wil zeggen dat de langste zijde west-oost is georiënteerd. Deze oriëntatie is zo gekozen omdat deze overeenkomt met de gemiddelde frequentie van voorkomen van de windrichting (westenwind dus). De berekeningsuitkomsten worden in percentielen uitgedrukt en deze zijn uiteraard gevoelig voor de windrichting. In tabel 1 is de windroos voor deze locatie (rijksdriehoekscoördinaten 152000, 397000: in de buurt van Boxtel in Brabant) gegeven.



Figuur 1. Stallen zijn in de berekeningen west-oost georiënteerd, met de emissiepunten (rood) aan de oostzijde van de stal. Bij meerdere stallen (zoals getoond in blauw) worden deze parallel aan elkaar geplaatst.

Tabel 1. Frequentie van voorkomen van de windrichtingen in midden Brabant. Groene rij betreft de westenwind (waarvoor de berekeningen zijn gedaan).

sector	graden	uren	percentage	windsnelheid (m/s)
1	(-15 - 15):	2616	6	3.1
2	(15 - 45):	3099	7.1	3.5
3	(45 - 75):	3214	7.3	3.9
4	(75-105):	1810	4.1	3
5	(105-135):	2542	5.8	2.8
6	(135-165):	3101	7.1	2.8
7	(165-195):	5123	11.7	3.6
8	(195-225):	7482	17.1	4.3
9	(225-255):	6380	14.6	4.4
10	(255-285):	3512	8	3.6
11	(285-315):	2594	5.9	3.3
12	(315-345):	2351	5.4	3.1
	Gemiddeld:	3652	8.3	3.45

De door provincie gevraagde PM10 emissies zijn vertaald naar aantallen dieren per bedrijf en naar aantal stallen per bedrijf, gegeven dat de capaciteit van één stal 60000 vleeskuikens, 27000 leghennen of 3500 vleesvarkens omvat. Dit maakt dat gerekend is met de kentallen zoals in tabel 2 is aangegeven. De dieraantallen zijn afgeleid van de PM10 emissies en daarom geen mooie afgeronde aantallen.

Tabel 2. Stofuitworp, aantal dieren en stallen per bedrijf voor de berekeningen (een punt geeft hier de duizendtallen aan).

stofuitworp (kg PM10/jaar/bedrijf) opgave van provincie N-Brabant			aantallen dieren (links, geel gearceerd) en aantal stallen (rechts) voor berekeningen					
vleeskuikens	leghennen	vleesvarkens	vleeskuikens		leghennen		vleesvarkens	
400	500	100	18.182	1	7.692	1	654	1
800	1500	150	36.364	1	23.077	1	980	1
1600	3000	300	72.727	1	46.154	2	1.961	1
2400	5000	450	109.091	2	76.923	3	2.941	1
3600	7500	600	163.636	3	115.385	4	3.922	1
4800	10000	800	218.182	4	153.846	6	5.229	1
6000	12000	1000	272.727	5	184.615	7	6.536	2
10000	17000	1400	454.545	8	261.538	10	9.150	3

2.2.3 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 2015 en met de PreSRM van 2015. 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. Als receptorpunten zijn gekozen de locaties ten oosten van de stal; met als referentiepunt het midden van de stal, zie tabel 3. Dat maakt dat er resultaten zijn tot 3 km afstand van de stal.

Tabel 3: receptorpunten voor de berekeningen (eerste punt is het midden van de stal).

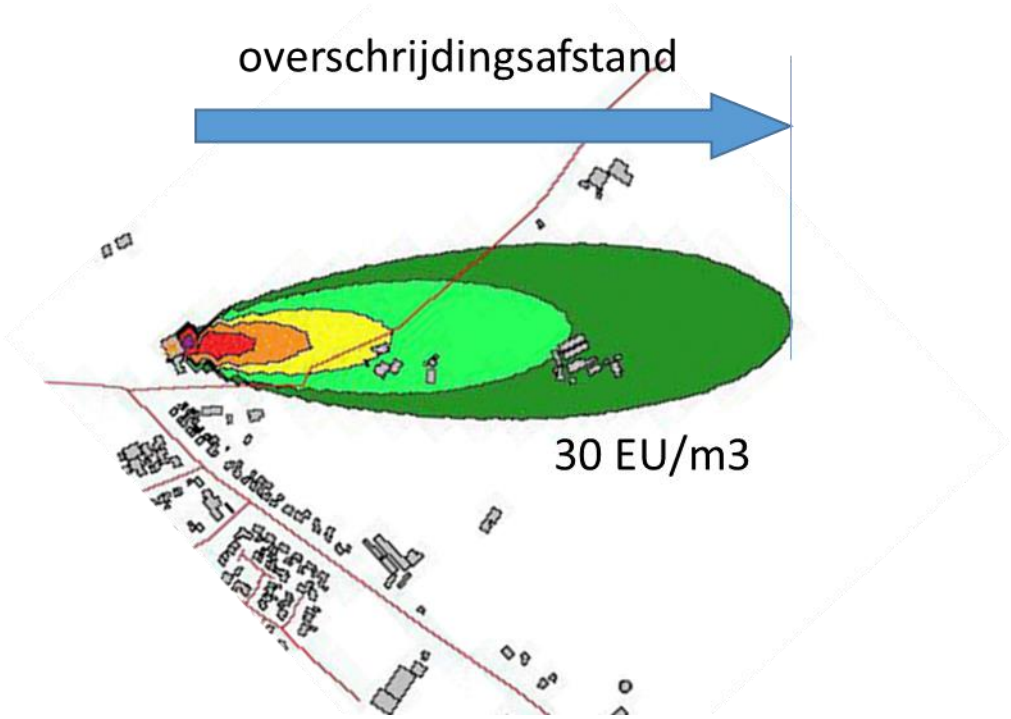
x-coördinaat(m)	y-coördinaat(m)	afstand tot midden stal (m)
152460	397580	0
152520	397580	60
152560	397580	100
152600	397580	140
152640	397580	180
152680	397580	220
152720	397580	260
152760	397580	300
152820	397580	360
152880	397580	420
152940	397580	480
153000	397580	540
153060	397580	600
153160	397580	700
153260	397580	800
153360	397580	900
153460	397580	1000
153710	397580	1250
153960	397580	1500
154210	397580	1750
154460	397580	2000
154710	397580	2250
154960	397580	2500
155210	397580	2750
155460	397580	3000

3 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. Net als in de eerdere studie zijn daarom enkele percentielwaarden gekozen waarvoor de resultaten zijn gegeven. Het betreft de 98- , de 99-, 99.5- en de 99.9-percentiel. Dat wil zeggen dat respectievelijk in niet meer dan 175, 88, 44 en 9 uur (dus 44, 22, 11 en 2 vier-uurgemiddelde perioden) per 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. 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 de grenswaarde van 30 EU/m^3 ligt.



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.

In tabel 4, 5 en 6 zijn de berekende overschrijdingsafstanden gegeven voor respectievelijk vleeskuikens, leghennen en vleesvarkens. Daarin staan voor vleeskuikens en leghennen twee blokken: één voor constante en één voor variabele emissie. Voor vleesvarkens is alleen gerekend met een constante emissie.

Tabel 4. Berekende overschrijdingsafstanden voor vleeskuikens, ten oosten van de stal.

Afstanden (m)	**Vleeskuikens, constante emissie**							
aantal dieren	18182	36364	72727	109091	163636	218182	272727	454545
aantal stallen	1	1	1	2	3	4	5	8
PM10 uitworp (kg/jaar)	400	800	1600	2400	3600	4800	6000	10000
Endotoxine 98.0-p	83	108	139	164	189	213	233	283
Endotoxine 99.0-p	90	121	147	178	212	239	260	325
Endotoxine 99.5-p	95	128	171	197	236	265	292	357
Endotoxine 99.9-p	101	157	219	246	293	330	356	429
Afstanden (m)	**Vleeskuikens, variabele emissie**							
PM10 uitworp (kg/jaar)	400	800	1600	2400	3600	4800	6000	10000
Endotoxine 98.0-p	101	126	171	203	221	258	281	381
Endotoxine 99.0-p	125	147	214	243	284	326	359	481
Endotoxine 99.5-p	139	174	256	298	353	401	463	619
Endotoxine 99.9-p	218	287	393	498	573	689	818	1188

Tabel 5. Berekende overschrijdingsafstanden (m) voor leghennen, ten oosten van de stal.

Afstanden (m)	**Leghennen, constante emissie**							
aantal dieren	7692	23077	46154	76923	115385	153846	184615	261538
aantal stallen	1	1	2	3	4	6	7	10
PM10 uitworp (kg/jaar)	500	1500	3000	5000	7500	10000	12000	17000
Endotoxine 98.0-p	99	132	152	164	206	217	230	252
Endotoxine 99.0-p	99	137	165	194	222	241	254	280
Endotoxine 99.5-p	100	144	173	204	240	256	274	303
Endotoxine 99.9-p	111	169	201	241	283	297	315	348
Afstanden (m)	**Leghennen, variabele emissie**							
PM10 uitworp (kg/jaar)	500	1500	3000	5000	7500	10000	12000	17000
Endotoxine 98.0-p	97	126	139	164	180	185	194	206
Endotoxine 99.0-p	98	133	151	173	195	201	210	221
Endotoxine 99.5-p	99	137	159	180	206	214	223	240
Endotoxine 99.9-p	106	163	179	209	241	248	260	294

Tabel 6. Berekende overschrijdingsafstanden (m) voor vleesvarkens, ten oosten van de stal.

Afstanden (m)	Vleesvarkens, constante emissie							
aantal dieren	654	980	1961	2941	3922	5229	6536	9150
aantal stallen	1	1	1	1	1	1	2	3
PM10 uitworp (kg/jaar)	100	150	300	450	600	800	1000	1400
Endotoxine 98.0-p	50	50	70	123	136	155	157	166
Endotoxine 99.0-p	50	50	110	132	148	169	169	177
Endotoxine 99.5-p	50	50	119	139	162	181	178	190
Endotoxine 99.9-p	50	87	135	166	190	218	209	223

In bijlage A zijn de overschrijdingsafstanden gevisualiseerd als staafdiagrammen.

De waarde van 50 m in tabel 6 betekent feitelijk kleiner dan 60 m: er was geen afstand waarneembaar waar de norm werd overschreden. Dat betekent niet dat deze afstand nul is, er waren immers geen receptorpunten neergelegd tussen midden van de stal en het eerste receptorpunt op 60 m afstand.

In Bijlage C zijn de jaargemiddelde PM10 concentraties ten gevolge van de bedrijfsemissies gegeven op de lijn west-oost. Dit is dus dezelfde lijn als waarvoor de endotoxine concentraties zijn gegeven. De landelijke achtergrondconcentraties (GCN) van fijnstof zijn hierin niet verwerkt. Deze concentraties schalen uiteraard lineair met de dieraantallen, dit in tegenstelling met de (endotoxine) percentielwaarden.

Voor de afstanden die in tabellen 4, 5 en 6 zijn gegeven (tot waar de waarde van 30 EU/m^3 wordt overschreden) worden in de tabellen 7, 8 en 9 de bijbehorende jaargemiddelde PM10 concentraties gegeven. Deze PM10 concentraties betreffen dan de bijdragen van de stallen, dus zonder de achtergrondconcentraties. Deze waarden zijn afgeleid uit de tabellen uit bijlage C door lineaire interpolatie. Daarbij zijn twee decimalen gegeven om de waarden van elkaar te kunnen onderscheiden, maar het zal duidelijk zijn dat de nauwkeurigheid van deze cijfers minder is. Niettemin is duidelijk een trend te zien in de berekende waarden. Voor vleeskuikens met een variabele emissie is niet veel PM10 emissie nodig om tot een overschrijding van de endotoxine grenswaarde te komen. Daarentegen is bij leghennen duidelijk zichtbaar dat er juist flinke PM10 emissies nodig zijn om deze overschrijding van de grenswaarde te bewerkstelligen.

Voor vleesvarkens is de PM10 emissie, nodig om tot overschrijding van de grenswaarde te komen het laagst, maar de PM10 emissies van vleesvarkens liggen dan ook op een veel lager niveau (per bedrijf; heel globaal een factor 10 lager) dan bij de andere twee diersoorten.

Tabel 7. Berekende jaargemiddelde PM10 concentraties behorend bij de overschrijdingsafstanden uit tabel 4 voor vleeskuikens, ten oosten van de stal.

PM10 concentratie (µg/m³)	Vleeskuikens, constante emissie							
aantal dieren	18182	36364	72727	109091	163636	218182	272727	454545
aantal stallen	1	1	1	2	3	4	5	8
PM10 uitworp (kg/jaar)	400	800	1600	2400	3600	4800	6000	10000
Endotoxine 98.0-p	2.91	3.54	3.52	3.84	4.18	4.37	4.51	4.97
Endotoxine 99.0-p	2.53	2.82	3.20	3.02	3.27	3.42	3.53	3.84
Endotoxine 99.5-p	2.30	2.41	2.29	2.49	2.58	2.72	2.84	3.14
Endotoxine 99.9-p	1.97	1.42	1.30	1.54	1.61	1.74	1.86	2.24
PM10 concentratie (µg/m³)	Vleeskuikens, variabele emissie							
PM10 uitworp (kg/jaar)	400	800	1600	2400	3600	4800	6000	10000
Endotoxine 98.0-p	2.23	2.82	2.19	2.68	3.41	3.22	3.74	3.41
Endotoxine 99.0-p	1.44	1.81	1.31	1.81	1.99	1.97	2.20	2.19
Endotoxine 99.5-p	0.99	1.25	0.86	1.16	1.30	1.31	1.38	1.36
Endotoxine 99.9-p	0.36	0.42	0.37	0.45	0.53	0.48	0.50	0.46

Tabel 8. Berekende jaargemiddelde PM10 concentraties behorend bij de overschrijdingsafstanden uit tabel 5 voor leghennen, ten oosten van de stal.

PM10 concentratie (µg/m³)	Leghennen, constante emissie							
aantal dieren	7692	23077	46154	76923	115385	153846	184615	261538
aantal stallen	1	1	2	3	4	6	7	10
PM10 uitworp (kg/jaar)	500	1500	3000	5000	7500	10000	12000	17000
Endotoxine 98.0-p	2.58	4.15	5.57	8.28	7.38	8.64	9.05	10.34
Endotoxine 99.0-p	2.58	3.52	4.72	5.55	6.12	7.05	7.38	8.49
Endotoxine 99.5-p	2.51	3.11	4.19	4.97	5.32	6.12	6.39	7.22
Endotoxine 99.9-p	2.11	2.24	3.02	3.44	3.71	4.53	4.88	5.61
PM10 concentratie (µg/m³)	Leghennen, variabele emissie							
PM10 uitworp (kg/jaar)	500	1500	3000	5000	7500	10000	12000	17000
Endotoxine 98.0-p	2.91	4.64	6.10	7.25	8.08	10.12	10.85	12.77
Endotoxine 99.0-p	2.75	3.82	5.16	6.19	6.98	8.59	9.11	10.79
Endotoxine 99.5-p	2.66	3.39	4.64	5.41	6.13	7.37	7.79	9.24
Endotoxine 99.9-p	2.35	2.23	3.26	3.96	4.33	5.35	5.61	6.04

Tabel 8. Berekende jaargemiddelde PM10 concentraties behorend bij de overschrijdingsafstanden uit tabel 6 voor vleesvarkens, ten oosten van de stal.

PM10 concentratie (µg/m³)	Vleesvarkens, constante emissie							
aantal dieren	654	980	1961	2941	3922	5229	6536	9150
aantal stallen	1	1	1	1	1	1	2	3
PM10 uitworp (kg/jaar)	100	150	300	450	600	800	1000	1400
Endotoxine 98.0-p	0.50	0.50	1.74	0.51	0.50	0.51	0.59	0.71
Endotoxine 99.0-p	0.50	0.50	0.42	0.42	0.41	0.42	0.50	0.60
Endotoxine 99.5-p	0.50	0.50	0.36	0.25	0.35	0.35	0.44	0.52
Endotoxine 99.9-p	0.50	0.52	0.26	0.25	0.24	0.23	0.31	0.37

4 Bespreking resultaten

De berekende overschrijdingsafstanden zijn in lijn met de waarden van de eerdere studie (Ogink, 2016) Bij een nauwkeurige vergelijking zal de lezer kleine discrepanties waarnemen. Deze zijn voornamelijk veroorzaakt doordat in de onderhavige studie in overleg met de provincie iets andere stalafmetingen zijn gehanteerd. Dit is nodig geworden omdat een grotere bandbreedte aan aantallen dieren is doorgerekend; hierdoor wijkt ook het aantal stallen per bedrijf soms af van de gekozen aantallen in de eerdere studie.

Net als in de eerdere studie geven ook hier de resultaten voor de vleeskuikens waarbij met variabele emissies is gerekend, de grootste overschrijdingsafstanden. De waarden zijn aanzienlijk groter dan wanneer met een constante emissie is gerekend. Dat is verklaarbaar vanuit de wetenschap dat een groot deel van de emissies plaatsvindt in een relatief kort tijdsbestek, namelijk wanneer de dieren aan het einde van groeicyclus zijn.

Bij de leghennen is een omgekeerd effect zichtbaar: de overschrijdingsafstanden worden juist kleiner wanneer er met variabele emissies wordt gerekend. Dat is verklaarbaar vanuit het feit dat de leghennen een grotere emissie geven tijdens daguren dan in nachtelijke uren; overdag zijn de verspreidingscondities doorgaans het gunstigst.

Vleesvarkens geven de gunstigste resultaten: de overschrijdingsafstand is nauwelijks meer dan 200 m. Bij deze resultaten past nog een opmerking: wanneer het aantal dieren stijgt van 5229 naar 6536 is zichtbaar dat de overschrijdingsafstand licht afneemt. Dat lijkt onlogisch, maar is verklaarbaar uit het verschil in aantal stallen: deze gaat van 1 naar 2. Het gevolg is dat de initiële verspreiding door de twee 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 verder toeneemt

tot boven 9000, neemt ook de overschrijdingsafstand weer toe, ofschoon het aantal stallen stijgt van 2 naar 3.

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. De aerodynamische eigenschappen van de deeltjes hangen sterk af van de morfologie en de dichtheid. Beide parameters zijn niet goed bekend voor stof uit stallen. Anderzijds is getracht de berekeningen aan de voorzichtige kant te laten zijn; met andere woorden, niet te hoog in te schatten; er bestaat een gerede kans dat de concentraties in werkelijkheid hoger kunnen zijn.

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.

Deze onzekerheidsbronnen zijn ook in het WUR-rapport (Ogink, 2016) benoemd:

- De verdeling van de stofconcentraties en endotoxine-gehaltes over de verschillende deeltjesgrootte-klassen is vrij ruw ingeschat: dit heeft een grote invloed op het pluimgedrag, vooral voor de fracties aan grotere deeltjes.
- Er is gerekend voor een (gemiddelde) windrichting: receptoren in andere windrichtingen kunnen hogere of lagere concentraties te zien geven
- De resultaten zijn verkregen bij één ruwheidslengte: een lagere ruwheidslengte (meer open gebeid) zal iets hogere concentraties geven en een groetere ruwheidslengte juist lagere waarden.
- De emissiepunten zijn aan de lijzijde (oostzijde) van de stal gelegd; een andere locatie ten opzichte van de hoofdwindrichting (zuidwest) zal andere resultaten opleveren.
- Er is gerekend met één waarde van de stofemissie (traditionele stalsystemen)
- De oriëntatie van stal kan van invloed zijn: hier is gekozen voor een oost-west oriëntatie
- Indien er meerdere bedrijven dicht bij elkaar liggen, zal er sprake zijn van cumulatie: daar is hier niet naar gekeken.
- Het gebruikte model houdt geen rekening met de schuine daken van stallen.

Ondanks deze onzekerheden lijkt het niet waarschijnlijk dat de resultaten de werkelijkheid sterk zullen overschatten. Dat komt doordat er getracht is om enigszins aan de conservatieve kant te rekenen:

- Bij de modellering van de pluimdaling en de depositie zijn tamelijk conservatieve parameters en aannamen gebruikt: door de significante invloed van de grote deeltjes (>>10 µm) vindt voor deze deeltjes een relatief snelle depositie plaats. Indien de depositiesnelheid lager is (wat niet onwaarschijnlijk is), dan zullen de concentraties hoger zijn en de overschrijdingsafstand dus groter.
  - Door de aanname dat de stallen in het model als een rechthoek verondersteld te zijn, wordt een grotere initiële verspreiding gemodelleerd. Schuine daken zouden een meer neerwaarts gerichte pluim hebben veroorzaakt waardoor de concentraties wat hoger zouden zijn en daarmee zou de overschrijdingsafstand toenemen.
  - Er is niet gerekend met spreiding in de emissies vanuit de stallen, anders dan de methodische variatie door de groeicyclus en de temperatuurafhankelijke ventilatiedebieten. Meer spreiding in emissiewaarden in het model toevoegen betekent dat de hogere (hoogste) percentielen zullen toenemen. Ook de (vaste) PM10 emissie volgens RAV per dier per jaar zal in praktijk variaties vertonen. Een vaste waarde is wellicht een redelijk gemiddelde, maar afhankelijk van het bedrijfsmanagement, voertype en dergelijke kunnen emissies van individuele bedrijven of stallen hoger (of lager) zijn, die zouden kunnen leiden tot een grotere overschrijdingsafstand.

In Bijlage B zijn de overschrijdingsafstanden tegen de dieraantallen uitgezet. Behalve voor de vleeskuikens met variabele emissies, blijkt de overschrijdingsafstand niet lineair toe te nemen met het aantal dieren: er sprake van afvlakking. Dit is ook de 'normale' verwachting: immers het verspreidingsproces is zeker niet lineair. De bijna lineaire toename van de overschrijdingsafstand bij de vleeskuikens-met-variabele emissie met toenemend aantal dieren is daarbij opmerkelijk. Het is niet zonder meer in te zien wat hier de reden van is. Wellicht dat de toenemende emissies bij een kleinere overschrijdingskans hier een rol bij speelt.

5 Conclusies

Bij de berekening van overschrijdingsafstanden van de endotoxinegrenswaarde, voorgesteld door de Gezondheidsraad (30 EU/m^3) en uitgevoerd voor een groter aantallen dieren dan in de eerdere studie (Ogink, 2016), worden vergelijkbare resultaten verkregen voor vergelijkbare aantallen dieren. Echter zijn de resultaten niet helemaal identiek, omdat er iets andere dimensies voor de stallen zijn gekozen.

De grootste overschrijdingsafstanden gelden voor de vleeskuikens met variabele emissie: hierbij is de emissie per uur afhankelijk gemaakt van het tijdstip in de groeicyclus en van de buitentemperatuur.

De situatie met leghennen en een variabele emissie levert juist iets kleinere overschrijdingsafstanden op ten opzichte van rekenen met een constante emissie.

De toename van de overschrijdingsafstanden van de norm (30 EU/m^3) met toenemend aantal dieren per bedrijf gaat niet lineair: er sprake van afvlakking. Dit lijkt niet te gelden voor de situatie met vleeskuikens en variabele emissie: daar is de toename min of meer lineair met dieraantallen.

De berekende overschrijdingsafstanden zijn indicatief omdat er een aantal belangrijke aannamen en onzekerheidsbronnen aan ten grondslag liggen. De hier gegeven resultaten zijn misschien nog aan de conservatieve kant omdat de rol van depositie groot is. Significant meer depositie (en dus lagere concentraties) dan hier is berekend is minder waarschijnlijk dan minder depositie.

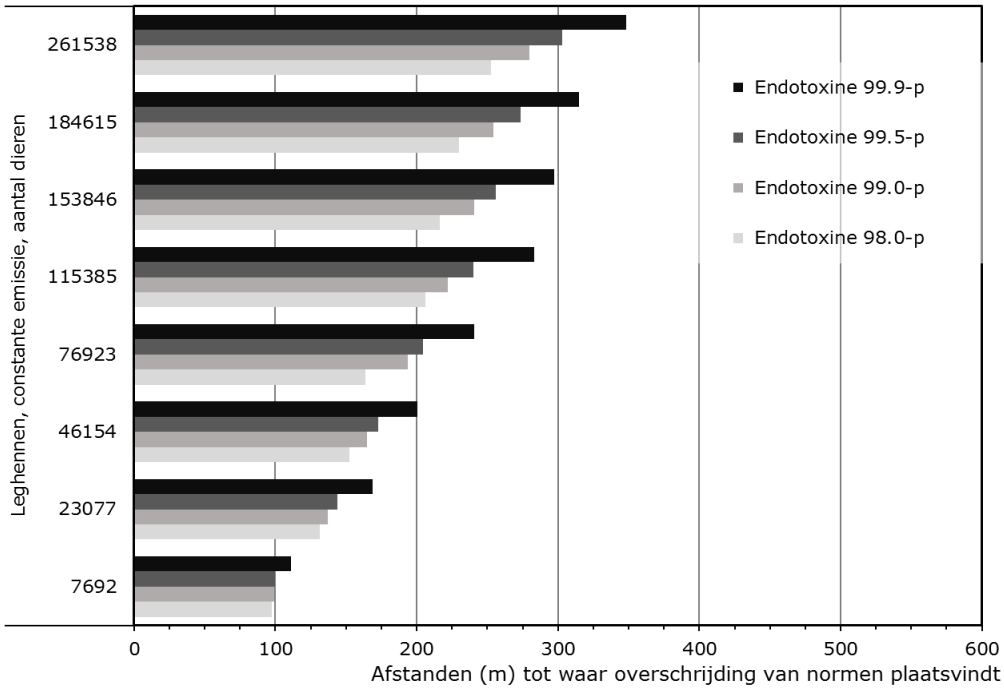
Referenties

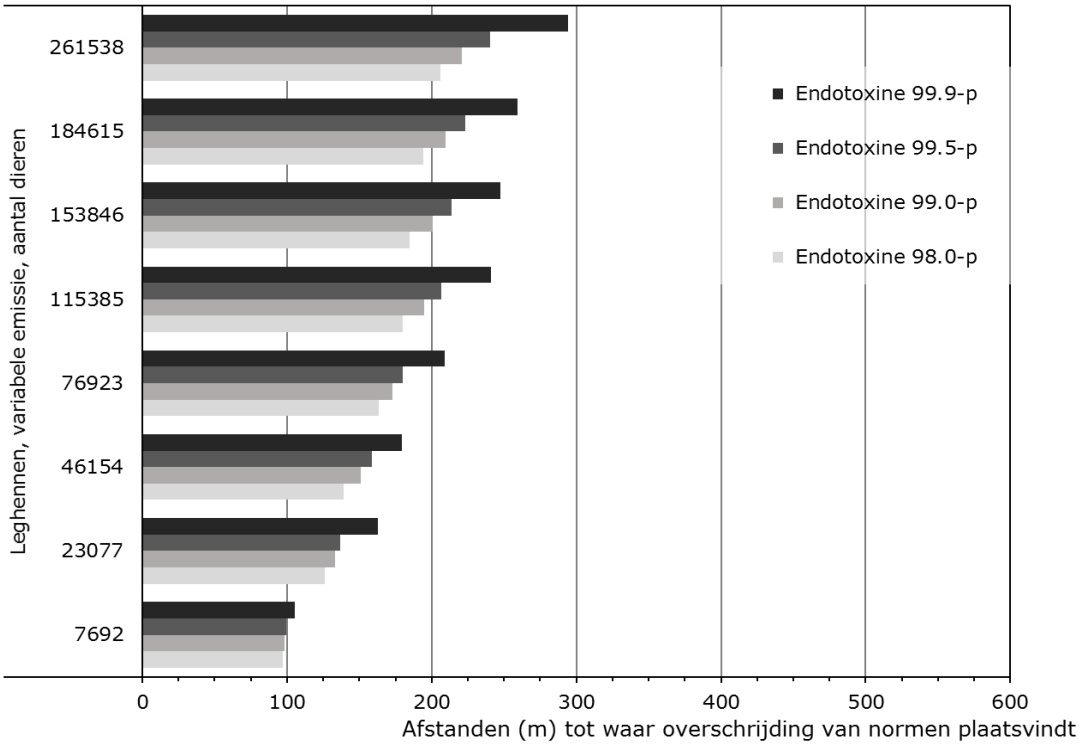
Ogink, N.W.M., Erbrink, J.J., D.J.J. Heederik, A. Winkel en I.M. Wouters, 2016. Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: emissiemetingen en verspreidingsmodellering. WUR Rapport 959. Wageningen, The Netherlands.

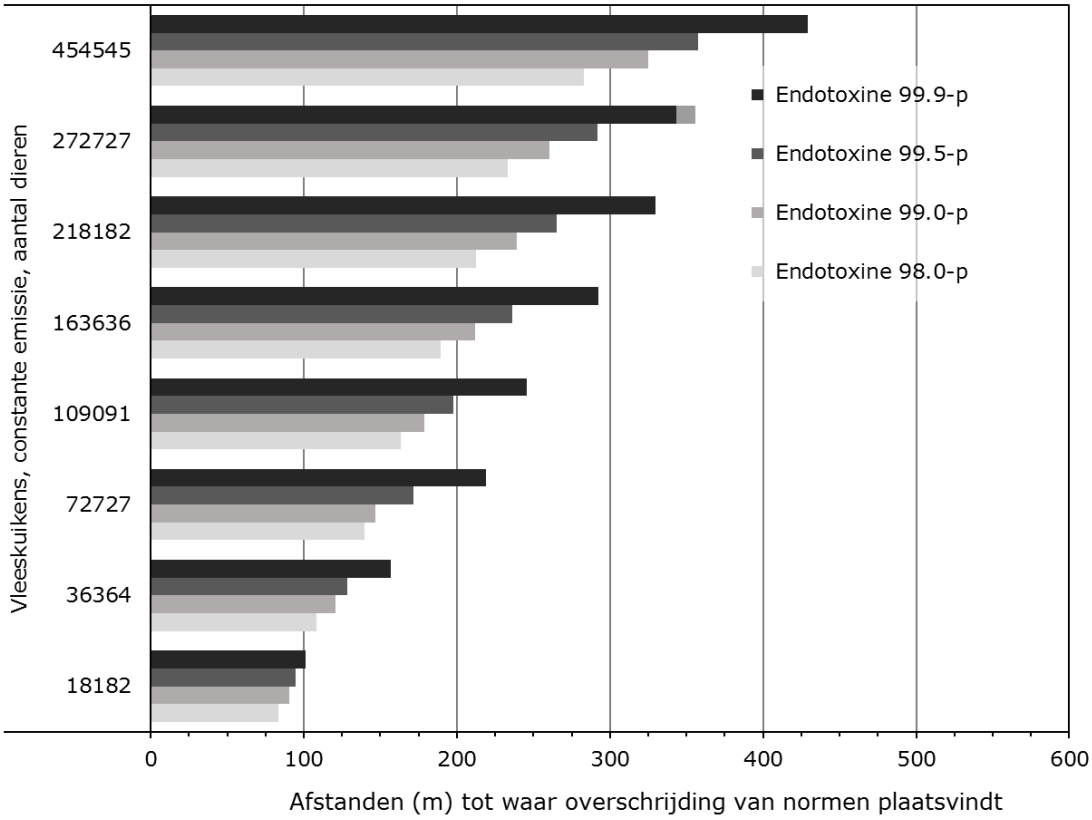
Erbrink, J.J. en Verhees, L., 2015. Effect van meer realistische warmte emissies en variabele stofemissies op de PM10, geur en NH3 concentraties bij pluimveehouderijen. DNV-KEMA rapport 74102439-CES/ECS 13-2539.

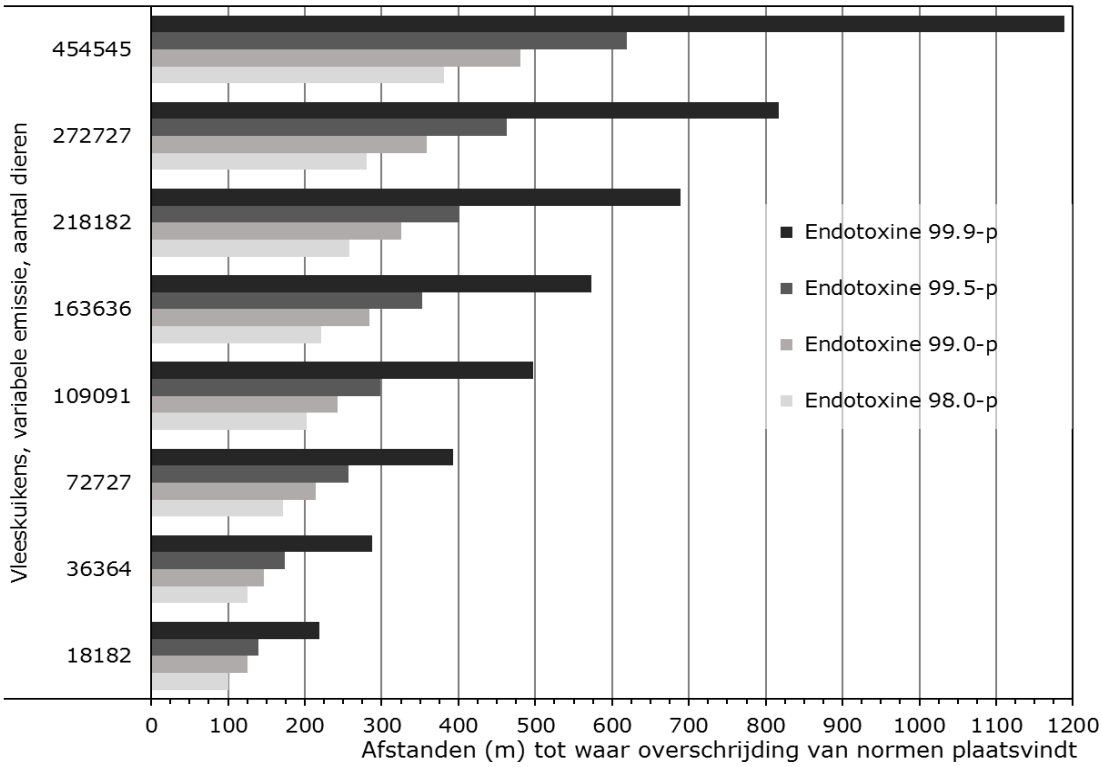
Gezondheidsraad (2012). Gezondheidsrisico's rond veehouderijen. Publicatie 2012/27. Den Haag: Gezondheidsraad.

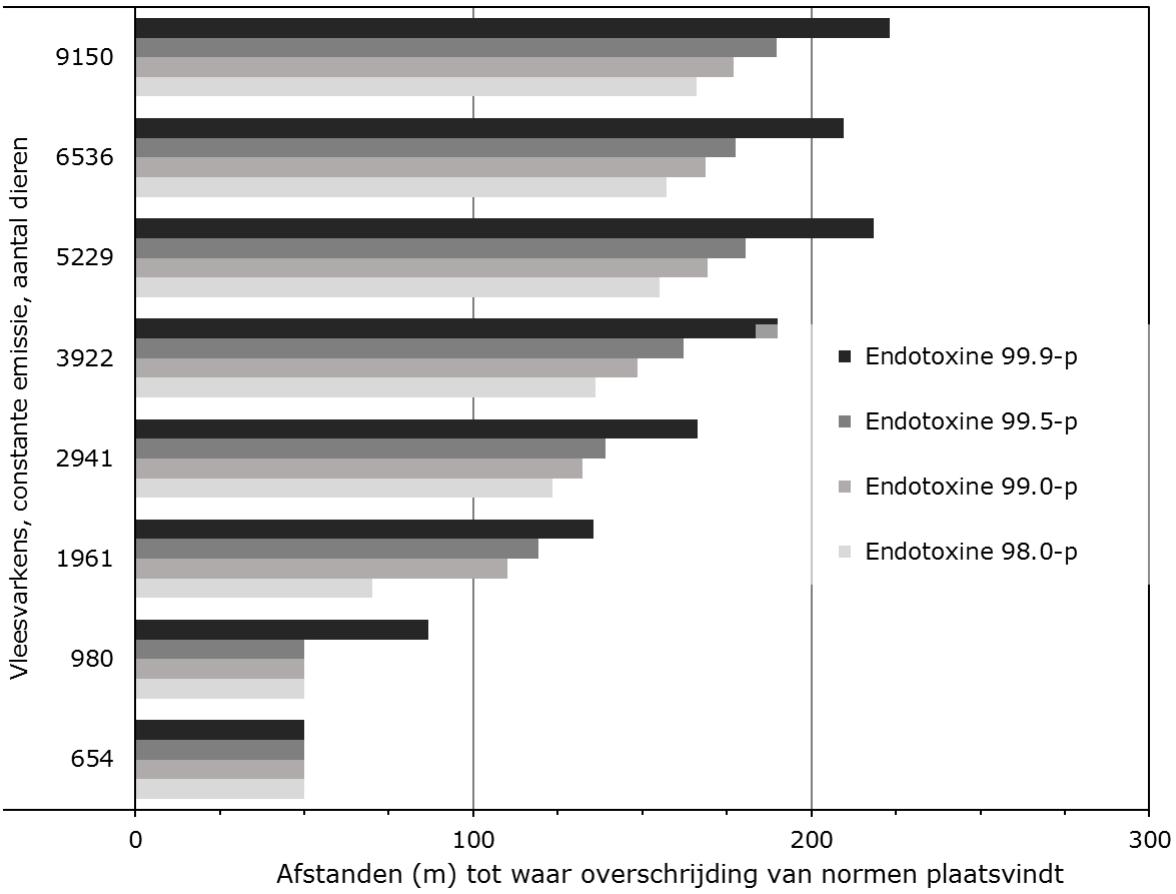
Bijlage A. Overschrijdingsafstanden: staafdiagrammen



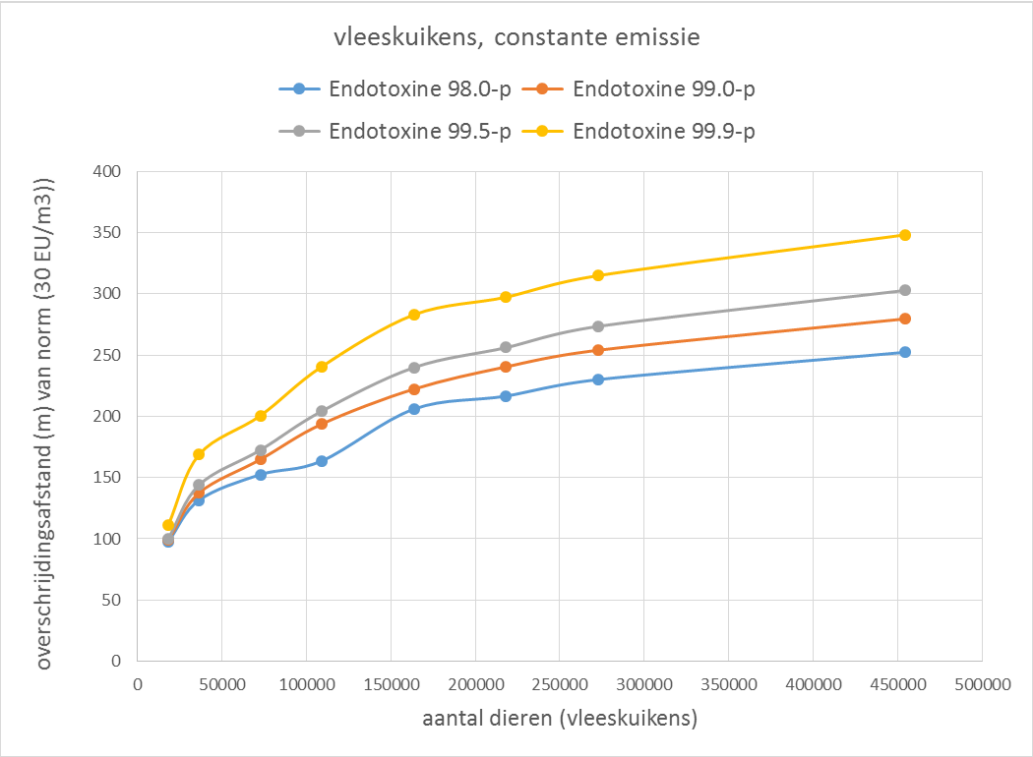


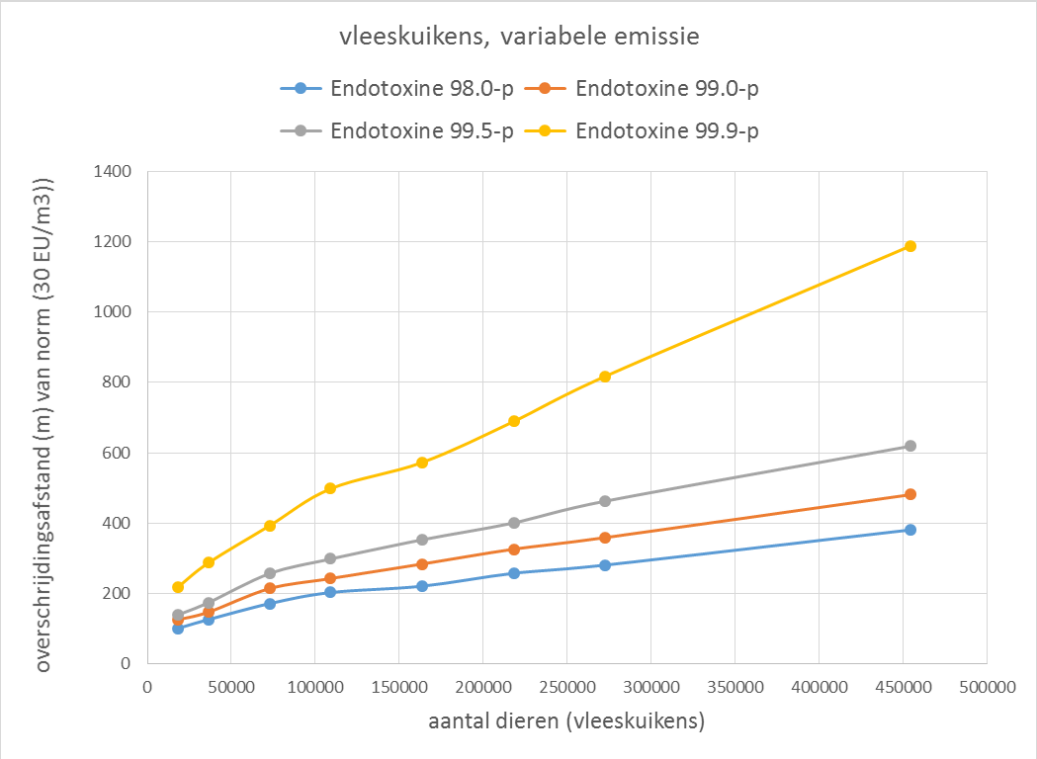

Vleeskuikens, constante emissie, aantal dieren
454545
272727
218182
163636
109091
72727
36364
18182
Endotoxine 99.9-p
Endotoxine 99.5-p
Endotoxine 99.0-p
Endotoxine 98.0-p
0
100
200
300
400
500
600
Afstanden (m) tot waar overschrijding van normen plaatsvindt

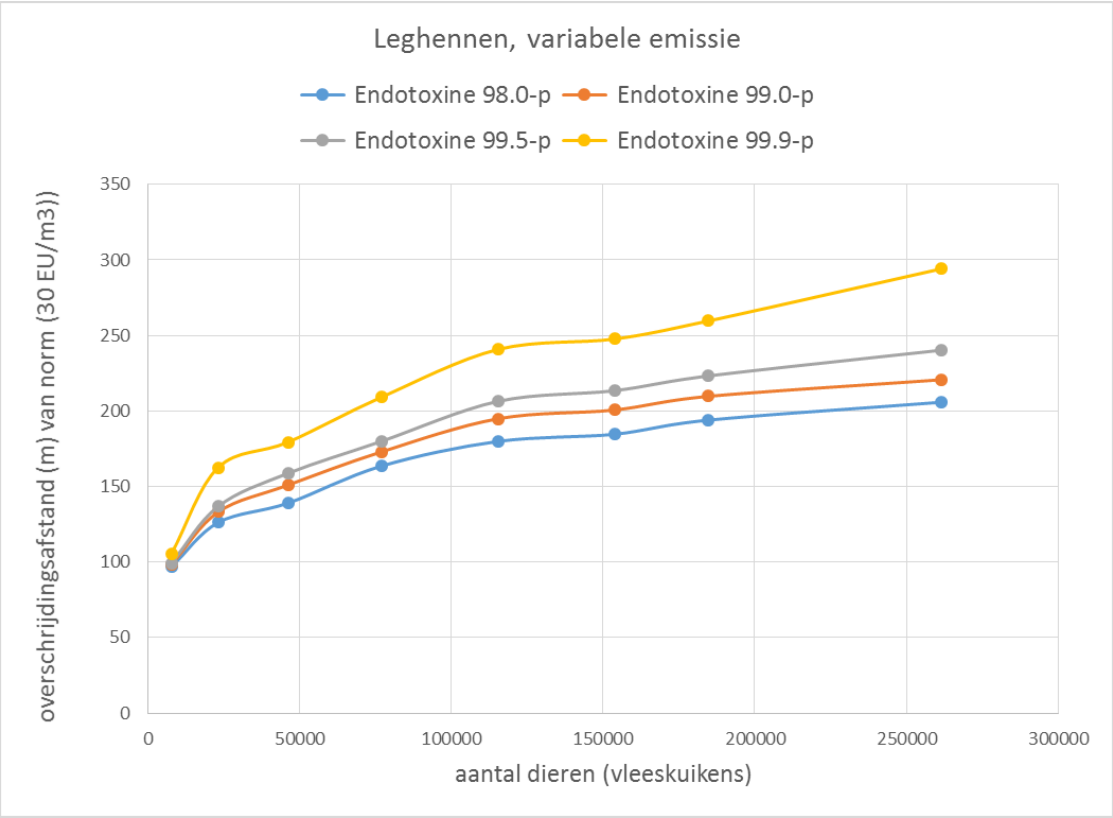

Vleeskuikens, variabele emissie, aantal dieren
454545
272727
218182
163636
109091
72727
36364
18182
Endotoxine 99.9-p
Endotoxine 99.5-p
Endotoxine 99.0-p
Endotoxine 98.0-p
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
Afstanden (m) tot waar overschrijding van normen plaatsvindt

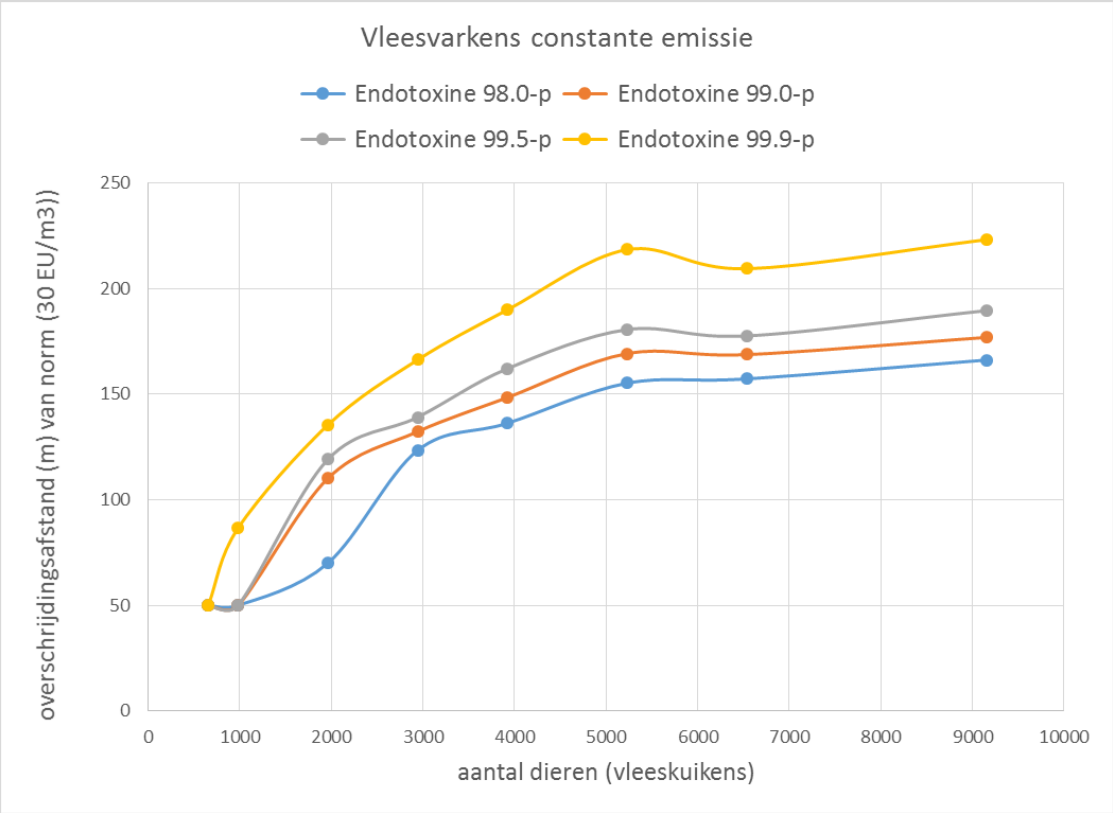

Vleesvarkens, constante emissie, aantal dieren
9150
6536
5229
3922
2941
1961
980
654
0
100
200
300
Afstanden (m) tot waar overschrijding van normen plaatsvindt
Endotoxine 99.9-p
Endotoxine 99.5-p
Endotoxine 99.0-p
Endotoxine 98.0-p

Bijlage B. Overschrijdingsafstanden vs dieraantallen






Leghennen, variabele emissie
Endotoxine 98.0-p
Endotoxine 99.0-p
Endotoxine 99.5-p
Endotoxine 99.9-p
overschrijdingsafstand (m) van norm (30 EU/m3))
0
50
100
150
200
250
300
350
0
50000
100000
150000
200000
250000
300000
aantal dieren (vleeskuikens)


Vleesvarkens constante emissie
Endotoxine 98.0-p
Endotoxine 99.0-p
Endotoxine 99.5-p
Endotoxine 99.9-p
overschrijdingsafstand (m) van norm (30 EU/m3))
0
50
100
150
200
250
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000
10000
aantal dieren (vleeskuikens)

Bijlage C. PM10 concentraties over de lijn west-oost

vleeskuikens								
constante emissie	aantal dieren							
afstand(m)	18182	36364	72727	109091	163636	218182	272727	454545
60	4.185	8.37	16.74	44.21	47.07	65.58	61.43	83.59
100	2.007	4.015	8.029	11.79	18.78	24.46	28.85	38.59
140	0.8648	1.730	3.459	5.139	8.000	10.76	13.44	20.17
180	0.4927	0.9855	1.971	2.939	4.545	6.101	7.618	12.14
220	0.3211	0.6423	1.285	1.920	2.957	3.982	4.988	8.078
260	0.2211	0.4422	0.8844	1.324	2.026	2.822	3.541	5.777
300	0.1661	0.3321	0.6642	0.9951	1.520	2.045	2.661	4.375
360	0.1166	0.2333	0.4665	0.6993	1.066	1.431	1.798	3.091
420	0.0875	0.1750	0.3500	0.5245	0.7974	1.069	1.342	2.317
480	0.0682	0.1365	0.2729	0.4090	0.6223	0.8339	1.047	1.812
540	0.0553	0.1105	0.2210	0.3313	0.5027	0.6729	0.8439	1.406
600	0.0457	0.0914	0.1827	0.2740	0.4158	0.5570	0.6985	1.164
700	0.0348	0.0697	0.1394	0.2091	0.3165	0.4237	0.5310	0.8843
800	0.0276	0.0551	0.1102	0.1653	0.2503	0.3354	0.4203	0.7003
900	0.0226	0.0452	0.0904	0.1356	0.2049	0.2743	0.3436	0.5723
1000	0.0189	0.0377	0.0755	0.1133	0.1711	0.2292	0.2871	0.4783
1250	0.0131	0.0262	0.0523	0.0785	0.1185	0.1585	0.1986	0.3311
1500	0.0098	0.0196	0.0391	0.0587	0.0885	0.1183	0.1481	0.2470
1750	0.0077	0.0153	0.0307	0.046	0.0693	0.0926	0.1159	0.1932
2000	0.0062	0.0124	0.0248	0.0373	0.0561	0.075	0.0939	0.1566
2250	0.0052	0.0104	0.0207	0.0311	0.0468	0.0625	0.0782	0.1305
2500	0.0044	0.0088	0.0176	0.0264	0.0398	0.0531	0.0665	0.1109
2750	0.0038	0.0076	0.0152	0.0228	0.0344	0.0459	0.0574	0.0957
3000	0.0033	0.0067	0.0134	0.0200	0.0301	0.0402	0.0504	0.084

vleeskuikens								
variabele emissie	aantal dieren							
afstand(m)	18182	36364	72727	109091	163636	218182	272727	454545
60	5.091	8.413	17.99	50.33	54.17	72.67	73.78	87.56
100	2.256	4.405	7.959	13.02	22.24	27.75	34.18	41.12
140	0.9614	1.951	3.335	5.750	9.376	12.07	16.16	22.06
180	0.5453	1.126	1.873	3.320	5.298	6.800	9.245	13.84
220	0.3547	0.7401	1.209	2.183	3.433	4.441	6.045	9.380
260	0.2444	0.5105	0.8280	1.514	2.343	3.140	4.299	6.857
300	0.1834	0.3850	0.6187	1.142	1.757	2.269	3.236	5.280
360	0.1287	0.2717	0.4317	0.8053	1.233	1.580	2.181	3.739
420	0.0965	0.2047	0.3222	0.6054	0.9249	1.178	1.631	2.794
480	0.0752	0.1601	0.2502	0.4730	0.7230	0.9185	1.276	2.193
540	0.0608	0.1300	0.2020	0.3836	0.5845	0.7417	1.0306	1.709
600	0.0503	0.1077	0.1665	0.3176	0.4841	0.6138	0.8550	1.423
700	0.0383	0.0824	0.1267	0.2424	0.3691	0.4669	0.6519	1.0865
800	0.0303	0.0653	0.0999	0.1919	0.2924	0.3696	0.5178	0.8633
900	0.0248	0.0536	0.0818	0.1575	0.2395	0.3023	0.4242	0.7051
1000	0.0207	0.0448	0.0682	0.1316	0.2003	0.2526	0.3553	0.5925
1250	0.0144	0.0312	0.0472	0.0913	0.1390	0.1748	0.2472	0.4102
1500	0.0107	0.0234	0.0352	0.0683	0.1039	0.1305	0.1849	0.3067
1750	0.0084	0.0183	0.0275	0.0535	0.0814	0.1022	0.1450	0.2403
2000	0.0068	0.0149	0.0223	0.0434	0.0660	0.0829	0.1177	0.1948
2250	0.0057	0.0124	0.0186	0.0362	0.0551	0.0691	0.0982	0.1625
2500	0.0048	0.0106	0.0158	0.0308	0.0468	0.0588	0.0836	0.1381
2750	0.0042	0.0091	0.0136	0.0266	0.0405	0.0508	0.0722	0.1193
3000	0.0037	0.008	0.0119	0.0234	0.0355	0.0445	0.0634	0.1046

leghennen								
constante emissie	aantal dieren							
afstand(m)	7692	23077	46154	76923	115385	153846	184615	261538
60	5.231	15.69	55.26	65.37	102.47	104.58	96.86	118.36
100	2.509	7.528	14.74	26.08	38.22	44.94	49.60	56.91
140	1.081	3.243	6.423	11.11	16.81	21.85	25.10	31.37
180	0.6159	1.848	3.674	6.312	9.533	12.62	14.79	19.59
220	0.4014	1.204	2.399	4.107	6.222	8.276	9.756	13.33
260	0.2764	0.8292	1.655	2.814	4.409	5.888	6.963	9.631
300	0.2076	0.6227	1.244	2.111	3.196	4.439	5.267	7.320
360	0.1458	0.4374	0.8741	1.480	2.237	3.115	3.713	5.196
420	0.1094	0.3281	0.6557	1.108	1.670	2.240	2.778	3.912
480	0.0853	0.2558	0.5113	0.8643	1.303	1.749	2.091	3.069
540	0.0691	0.2072	0.4142	0.6981	1.051	1.408	1.686	2.479
600	0.0571	0.1713	0.3425	0.5776	0.8704	1.166	1.395	2.054
700	0.0436	0.1307	0.2613	0.4395	0.6621	0.8858	1.060	1.502
800	0.0344	0.1033	0.2067	0.3477	0.5241	0.7016	0.8394	1.190
900	0.0282	0.0847	0.1695	0.2846	0.4285	0.5733	0.6862	0.972
1000	0.0236	0.0708	0.1416	0.2377	0.3581	0.4792	0.5736	0.8123
1250	0.0164	0.0491	0.0982	0.1646	0.2477	0.3314	0.397	0.5622
1500	0.0122	0.0367	0.0734	0.1229	0.1848	0.2471	0.2962	0.4195
1750	0.0096	0.0287	0.0575	0.0962	0.1446	0.1933	0.2317	0.3284
2000	0.0078	0.0233	0.0466	0.078	0.1172	0.1566	0.1878	0.2662
2250	0.0065	0.0194	0.0389	0.065	0.0977	0.1305	0.1565	0.2218
2500	0.0055	0.0165	0.0331	0.0553	0.083	0.1109	0.133	0.1885
2750	0.0048	0.0143	0.0286	0.0477	0.0717	0.0958	0.1148	0.1628
3000	0.0042	0.0125	0.0251	0.0419	0.0629	0.084	0.1007	0.1427

leghennen								
variabele emissie	aantal dieren							
afstand(m)	7692	23077	46154	76923	115385	153846	184615	261538
60	6.981	20.94	63.93	68.94	99.92	99.44	93.55	111.25
100	2.572	7.717	14.75	24.99	35.27	40.09	44.49	50.21
140	1.006	3.018	5.901	9.905	14.78	18.86	21.69	26.76
180	0.5435	1.631	3.219	5.407	8.071	10.56	12.40	16.30
220	0.3427	1.028	2.040	3.430	5.138	6.759	7.978	10.85
260	0.2322	0.6967	1.385	2.326	3.579	4.726	5.591	7.694
300	0.1713	0.5139	1.023	1.719	2.581	3.512	4.166	5.761
360	0.1177	0.3531	0.704	1.183	1.777	2.427	2.889	4.019
420	0.0867	0.2602	0.5191	0.871	1.308	1.741	2.135	2.986
480	0.0668	0.2003	0.3999	0.6718	1.010	1.346	1.606	2.319
540	0.0534	0.1603	0.3201	0.5369	0.807	1.075	1.284	1.859
600	0.0438	0.1313	0.2624	0.4405	0.662	0.883	1.055	1.530
700	0.033	0.099	0.1978	0.3316	0.4984	0.6645	0.795	1.121
800	0.0259	0.0776	0.1551	0.2603	0.3914	0.5225	0.6249	0.882
900	0.0211	0.0632	0.1263	0.2117	0.3181	0.4245	0.5081	0.7173
1000	0.0175	0.0526	0.1051	0.1761	0.2647	0.3534	0.423	0.5975
1250	0.0121	0.0362	0.0724	0.1212	0.1821	0.2432	0.2913	0.4119
1500	0.009	0.027	0.0539	0.0902	0.1356	0.1811	0.217	0.307
1750	0.007	0.0211	0.0422	0.0706	0.106	0.1416	0.1697	0.2402
2000	0.0057	0.0171	0.0342	0.0572	0.0859	0.1147	0.1375	0.1947
2250	0.0048	0.0143	0.0285	0.0477	0.0716	0.0956	0.1146	0.1623
2500	0.004	0.0121	0.0243	0.0405	0.0608	0.0812	0.0974	0.138
2750	0.0035	0.0105	0.021	0.035	0.0526	0.0702	0.0842	0.1193
3000	0.0031	0.0092	0.0184	0.0307	0.0461	0.0616	0.0739	0.1046

vleesvarkens	aantal dieren							
afstand(m)	654	980	1961	2941	3922	5229	6536	9150
60	0.7173	1.075	2.151	3.226	4.301	5.735	7.569	8.673
100	0.1637	0.2452	0.4907	0.7359	0.9814	1.309	1.563	2.182
140	0.0759	0.1138	0.2277	0.3415	0.4555	0.6072	0.7243	0.9814
180	0.0435	0.0652	0.1306	0.1958	0.2611	0.3481	0.4172	0.5650
220	0.0285	0.0427	0.0854	0.1281	0.1708	0.2278	0.2735	0.3766
260	0.0205	0.0308	0.0616	0.0923	0.1231	0.1642	0.1978	0.2742
300	0.0157	0.0235	0.047	0.0705	0.094	0.1253	0.1518	0.2094
360	0.0112	0.0168	0.0336	0.0504	0.0673	0.0897	0.1093	0.1509
420	0.0085	0.0128	0.0256	0.0384	0.0512	0.0682	0.0835	0.1153
480	0.0068	0.0102	0.0204	0.0306	0.0408	0.0544	0.0667	0.0924
540	0.0056	0.0084	0.0168	0.0251	0.0335	0.0447	0.055	0.0763
600	0.0047	0.0071	0.0142	0.0212	0.0283	0.0378	0.0466	0.0647
700	0.0037	0.0056	0.0112	0.0167	0.0223	0.0297	0.0368	0.0512
800	0.0031	0.0046	0.0092	0.0137	0.0183	0.0244	0.0302	0.0421
900	0.0026	0.0039	0.0077	0.0116	0.0155	0.0206	0.0256	0.0357
1000	0.0022	0.0033	0.0067	0.0100	0.0134	0.0178	0.0222	0.0309
1250	0.0017	0.0025	0.0050	0.0075	0.0100	0.0133	0.0166	0.0232
1500	0.0013	0.0020	0.0040	0.0060	0.008	0.0106	0.0132	0.0185
1750	0.0011	0.0016	0.0033	0.0049	0.0066	0.0088	0.0109	0.0153
2000	0.0009	0.0014	0.0028	0.0042	0.0056	0.0075	0.0093	0.0130
2250	0.0008	0.0012	0.0024	0.0036	0.0048	0.0065	0.0081	0.0113
2500	0.0007	0.0011	0.0021	0.0032	0.0043	0.0057	0.0071	0.0100
2750	0.0006	0.0010	0.0019	0.0029	0.0038	0.0051	0.0063	0.0089
3000	0.0006	0.0009	0.0017	0.0026	0.0034	0.0046	0.0057	0.0080