



Metingen aan het windveld van een ventilator van een kippenstal

Annette Pronk, Henk Jan Holterman, Bert Meurs & Rob Geerts





Metingen aan het windveld van een ventilator van een kippenstal

Annette Pronk, Henk Jan Holterman, Bert Meurs & Rob Geerts

© 2015 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Plant Research International. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Plant Research International, Agrosysteemkunde.

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.



Ministerie van Economische Zaken

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Agrosysteemkunde

Adres : Postbus 16, 6700 AA Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : 0317 – 48 04 78
Fax : 0317 – 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
Summary	5
1. Inleiding	7
2. Materiaal en methoden	11
2.1 Opstellen van een plan van aanpak	11
2.2 Randvoorwaarden voor het praktijkbedrijf	11
2.3 Het praktijkbedrijf	11
2.4 Rookproeven	12
2.5 Metingen van het windveld	12
3. Resultaten	15
3.1 De rookproeven	15
3.2 Windprofielmetingen	15
3.2.1 Windprofiel in het vrije veld	15
3.2.2 Scheiding van ventilatorprofiel en windprofiel	18
4. Discussie en conclusies	23
Literatuur	27
Bijlage I. Resultaten van de luchtprofielen wind + ventilatoren (linker kolom) en ventilatoren (rechter kolom) voor de posities 1 t/m 7 voor ventilatorstoestand 'O'	1
Bijlage II. Resultaten van de luchtprofielen wind + ventilatoren (linker kolom) en ventilatoren (rechter kolom) voor de posities 1 t/m 7 voor ventilatorstoestand 'R'	1
Bijlage III. Risicoschatting van ammoniakschade aan gewassen in de directe omgeving van intensieve veehouderijbedrijven	1

Voorwoord

Om te kunnen voldoen aan Europese normen voor de maximale concentraties van fijnstof in de buitenlucht, dienen in Nederland maatregelen te worden doorgevoerd die de emissie uit belangrijke bronnen terugdringen. Binnen dit kader is het onderzoek naar de interceptie van fijnstof uit veehouderij door groenelementen gestart. Veldproeven hebben laten zien dat onder ideale omstandigheden fijnstofdeeltjes kunnen worden afgevangen. Afvangst treedt alleen op als deeltjes het groenelement daadwerkelijk inwaaien. Omdat niet bekend is hoe emissies zich via de impuls van de ventilator in de buitenlucht verspreiden, is dit onderzoek opgestart.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Economische Zaken in het kader van het 'Plan van aanpak bedrijfsoplossingen voor fijnstofreductie in de pluimveehouderij'.

Annette Pronk
Projectleider
Plant Research International, Wageningen UR

Samenvatting

Stof, grof en fijn, wordt vooral via de ventilator van veehouderijbedrijven in de lucht gebracht en in het bijzonder via de ventilatoren van kippenstallen. Het is niet bekend hoe een emissiepluim van ventilator(en) van lengteventilatiesystemen eruit zien op korte afstand van de stal (tot 30 à 40 m). Wel is bekend dat een groenelement invloed heeft op de emissiepluim, doordat de pluim door een groenelement zowel van richting als van impuls verandert. Het is echter onbekend wat deze veranderingen zijn.

Groenelementen dragen bij aan het verbeteren van de luchtkwaliteit doordat fijnstofdeeltjes uit de lucht tegen de bladeren en takken van het groenelement aan botsen en daarmee uit de lucht verwijderd worden. In theorie is het mogelijk om de gehele emissiepluim van stalventilatoren door een groenelement te laten stromen en daaruit een gedeelte van de fijnstofemissie te filteren. Eerder onderzoek heeft vastgesteld dat een groenelement van grove den (*Pinus sylvestris*) ongeveer 30 tot 40% van de massa van "grote" fijnstofdeeltjes (aerodynamische diameter 5-12 µm) kan verwijderen uit de lucht die het groenelement is binnengestroomd. De optimale afvangst treedt op als de emissies goed gemengd in de buitenlucht het groenelement inwaaien. Er is sprake van een goede menging als de impuls van de ventilatoren niet meer onderscheidbaar is van de omgevingswind. Dit is dan tevens de minimale afstand waarop een groenelement geplaatst zou kunnen worden voor het afvangen van fijnstof uit de ventilatoren van kippenstallen. Een ander aspect is de emissie van ammoniak. Een groenelement en beplanting in het algemeen kunnen schade ondervinden van hoge concentraties ammoniak. Ook daarmee moet rekening gehouden worden bij het vaststellen van de afstand tussen ventilatoren en groenelement. De afstand waarop het groenelement wordt geplaatst, bepaalt hoe hoog het moet zijn om vrijwel de gehele emissiepluim te vangen.

Doelstelling van het onderzoek is om:

- het windveld van een werkende ventilator van een kippenstal vast te stellen bij verschillende windrichtingen en -snelheden,
- dit te vergelijken met een windveld van de ventilator bij zeer lage windsnelheden, d.w.z. gedurende windstille omstandigheden.

Op een praktijkbedrijf zijn metingen verricht aan het windveld voor twee ventilatorstoelstanden: 1) drie kleine ventilatoren aan en 2) één grote ventilator en drie kleine ventilatoren aan. Het heersende windprofiel is bepaald en het ventilatorprofiel is bepaald.

Met deze kennis is een afstand van ongeveer 25 m (± 10 m) berekend waarop de impuls van de ventilator niet meer te onderscheiden is van het heersende windprofiel. Dit is daarmee de minimale afstand waarop een groenelement geplaatst zou kunnen worden zodat de goed gemengde emissies de haag in stromen. Dit is tevens de minimale afstand waarop een beplanting achter een emissiebron geplaatst kan worden bij een maximale emissie van 2200 kg ammoniak per jaar. Voor deze afstand is vervolgens berekend dat het groenelement minimaal 10 m hoog moet zijn zodat het overgrote deel van de pluim door het groenelement zal stromen.

Op basis van deze studie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De impuls van de ventilator is op ongeveer 25 m (± 10 m) achter de ventilator niet meer vast te stellen en daarmee opgenomen in de heersende wind.
- De impuls van de ventilator heeft op die afstand een hoogte van ongeveer 10 m.
- De afstand tussen ventilator en groenelement uit dit onderzoek is even groot als de minimale afstand die op basis van ammoniakemissie nodig is om gewasschade aan het groenelement te voorkomen.

Een bomenrij op minimaal 25 m van de ventilatoren van minimaal 10 meter hoog zal daardoor doorstroomd worden met vrijwel alle emissies afkomstig van de ventilatoren. Hierdoor wordt de afvangcapaciteit van een groenelement maximaal benut. In de meeste situaties zal echter de ammoniakemissie de afstand tussen ventilator en groenelement bepalen.

Summary

Dust, both coarse and fine (PM_{10}), is emitted mainly through the exhaust fans of livestock housing and especially through the exhaust fans of poultry housing. There is little known about the dispersion of the emission plume of an exhaust fans of funnel ventilation systems at a short distance of the housing (30 to 40 m). It is known that a hedgerow has a profound effect on an emission plume as both wind speed and wind direction are affected. However, up till now it is not clear how an emission plume is changed.

Hedgerows improve air quality as they catch PM_{10} from the air when particles impact on leaves and twigs in the hedgerow and thus are removed. In theory it is feasible to force the entire emission plume through a hedgerow removing a fraction of the PM_{10} . Previous research indicated that a hedgerow of Scots Pine (*Pinus sylvestris*) removed between 30 to 40% of the PM_{10} mass with an aerodynamic diameter between 5-12 μm of the amount that entered the hedgerow. The best filtration occurs when emissions are mixed well in ambient air when entering the hedgerow. The mixing is sufficient when the wind profile of the ventilator no longer exists, that is, when it is no longer distinctively measurable compared to the background wind profile. The distance from the ventilator where these two profiles have merged is the shortest distance to place the hedgerow. Besides, the deposition of ammonia from the exhaust fans needs to be considered as hedgerows can be damaged when deposition is too high. When the best distance is found, the minimum required height of the hedgerow needs to be estimated to catch the entire dispersed emission plume.

Thus, the aims of this study are:

- To investigate the wind speed profile of an exhaust fan at a poultry livestock housing with different ambient wind speeds and wind directions and
- To compare the wind speed profiles of the exhaust fans with those with very low ambient wind profiles so the profile of the exhaust fans can be established.

Measurements of wind speed profiles of both background and exhaust fans were done on farm. There were two exhaust fan situations: 1) three small fans running and 2) one big fan and three small fans running. The wind profile of the exhaust fans is calculated from the measurements.

With the results it was estimated that a distance of approximately 25 m (± 10 m) behind the fans the difference between the wind speed profile of the fans and the background no longer exists. At this distance the emissions are therefore sufficiently mixed with the ambient air and filtering within a hedgerow will be optimal. This distance is also found to be the minimum distance for a hedgerow behind fans for poultry housing emitting not more than 2200 kg ammonium annually. The estimated height of the hedgerow must be at least 10 m so that most of the emission plume will enter the hedgerow.

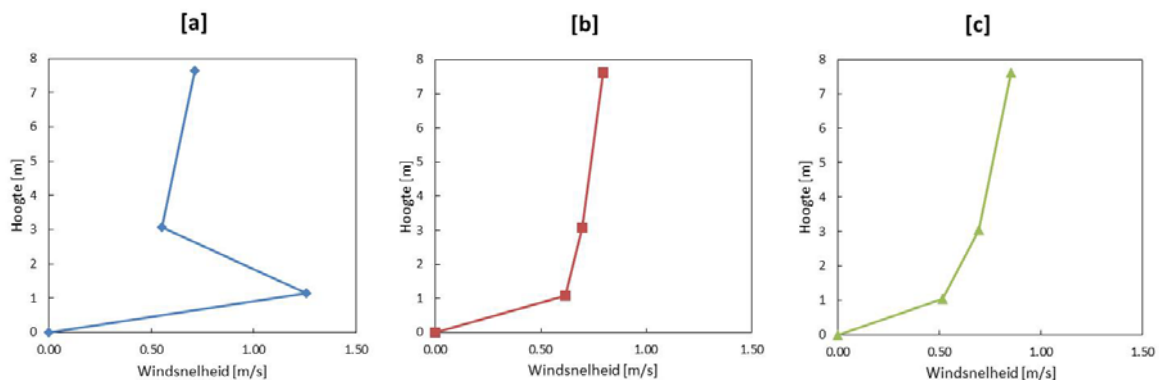
Based on this study the following conclusions are:

- The wind speed profile of the exhaust fans has merged with the ambient wind speed profile at approximately 25 m (± 10 m) behind the fans.
- The height of the speed profile of the exhaust fans at that distance from the fans is 10 m.
- The minimum distance between ventilator and hedgerow as found in this study equals the minimum distance needed to minimize risks on ammonium damage to the hedgerow.

Most of the emission plume will flow through a hedgerow when placed at a minimum distance of 25 m of the fans with a minimum height of 10 m. In this case, the capacity of the hedgerow to remove PM_{10} from the exhaust fans is at its maximum. However, in most situations the distance between ventilator and hedgerow will be determined by the annual ammonia emissions as that distance will be larger than needed for the merging of the wind speed profile of the exhaust fans with ambient wind speed profile.

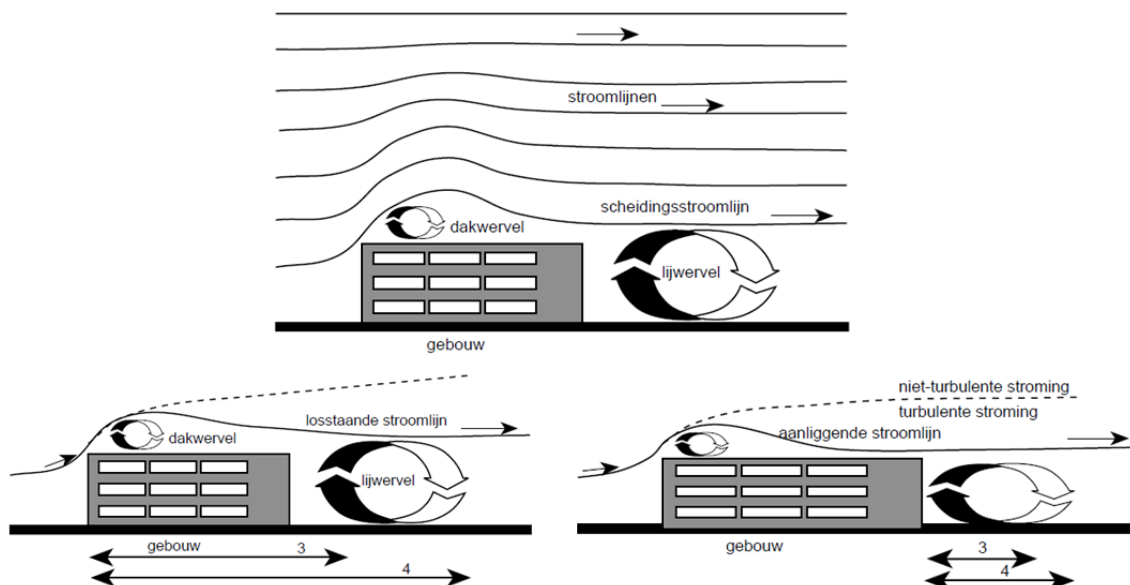
1. Inleiding

Stof, grof en fijn, wordt vooral via de ventilator van veehouderijbedrijven in de lucht gebracht en in het bijzonder via de ventilatoren van kippenstallen. Het is niet bekend hoe de emissiepluim van de ventilator eruit ziet op korte afstand van de stal (tot 30 à 40 m). Wel is bekend dat een groenelement invloed heeft op de emissiepluim, doordat de pluim door een groenelement zowel van richting als van impuls verandert. Het is echter onbekend wat de veranderingen zijn. In de literatuur zijn weinig studies gedaan naar luchtprofielen van ventilatoren van veehouderijbedrijven. Enkele studies zijn gedaan naar windprofielen achter ventilatoren met een bomenrij waarbij Colletti (2006) een windprofiel presenteert op 7,5 m achter de ventilator en vlak voor een zeer spaarzame bomenrij, op 10,5 m tussen de bomen en op 13,5 m vlak achter de bomenrij (Figuur 1). Het betreft hier metingen aan het samengestelde profiel van de heersende wind en de ventilator. De studie rapporteert niet over het heersende windprofiel zodat de bijdrage van de ventilator niet apart kan worden berekend.



Figuur 1. De gevonden windprofielen van Colletti (2006) op 7,5 m achter de ventilatoren en vlak voor de bomenrij (a), op 10,5 m tussen de bomen (b) en op 13,5 m vlak achter de bomenrij (c).

De ventilator blaast het stof de buitenlucht in. Deze pluim verspreidt zich en hierop hebben de heersende windrichting, de emissiehoogte, het daktype en eventuele hagen/groenelementen veel invloed. Over de verspreiding van een dergelijke pluim is veel bekend als het gaat om schoorstenen of om pluimen uit gebouwen met platte daken (Figuur 2). De situatie voor pluimveehouderijbedrijven met lengteventilatie is echter beduidend anders: deze bedrijven hebben een dak met een nok evenwijdig aan de lengterichting van het gebouw en de ventilatoren zitten aan de kopse kant (Figuur 3).



Figuur 2. Strooming rond een gebouw (boven) en een voorbeeld van vrijstaande (links onder) en aanliggende (rechts onder) stroomlijn boven het dak (de streeplijn is de zoglijn: de scheidingslijn tussen turbulente en niet-beïnvloede stroming) (overgenomen van Scholten et al.1998).



Figuur 3. Een voorbeeld van lengteventilatie bij een kippenstal.

Hoe de pluim zich bij dit type stal gedraagt, is onderwerp van deze studie. Kennis over dit gedrag is nodig omdat dit van invloed is op de afstand van het groenelement tot de ventilator en de benodigde hoogte van het groenelement. De afstand van het groenelement tot de ventilator is belangrijk om verschillende redenen en moet zodanig zijn dat:

- bij het bereiken van het groenelement de emissie zo homogeen mogelijk in de lucht is verdeeld, waardoor het filterende effect maximaal zal zijn,
- de bomen het aanbod aan ammoniak kunnen verwerken en geen schade ondervinden door te hoge concentraties.

De hoogte van de pluim bij het bereiken van het groenelement bepaalt hoe hoog de bomen moeten zijn voor een maximaal rendement. De hoogte van de pluim is hoofdzakelijk afhankelijk van de afstand tussen ventilator en groenelement en in veel mindere mate van de windrichting en windsnelheid (Hanna 1982).

In dit onderzoek is het windveld van de ventilator experimenteel vastgesteld en er is berekend op welk moment de impuls van de ventilatoren niet meer is te onderscheiden van de omgevingswind. Als dit onderscheid is verdwenen is de emissie voldoende gemengd zodat bij instromen in de bomenrij de afvangst maximaal zal zijn.

Doelstelling(en) van het onderzoek zijn om:

- het windveld van een werkende ventilator van een kippenstal vast te stellen bij verschillende windrichtingen en snelheden,
- dit te vergelijken met een windveld van de ventilator bij zeer lage windsnelheden, d.w.z. gedurende windstille omstandigheden.

Voor dit onderzoek is allereerst een plan van aanpak opgesteld (par. 2.1–2.4). De afwegingen worden gedocumenteerd en resulteren in een beschrijving van de gekozen methodiek voor het uitvoeren van praktijkmetingen op een pluimveehouderijbedrijf. Daarbij zal ook gekeken worden of de metingen met of zonder beplanting worden uitgevoerd. Selectie van een geschikt bedrijf gebeurt in samenwerking met deskundigen uit de sector (ASG). Op dit bedrijf worden metingen verricht aan het windveld op diverse afstanden en hoogten van de ventilatoren. De gedetailleerde meetopzet wordt in het plan van aanpak gespecificeerd.

De metingen worden in september en oktober uitgevoerd. Deze periode heeft geen invloed op de resultaten maar is wel een periode waarin stallen doorgaans geventileerd worden. Later in het jaar bij koelere buitentemperaturen, neemt de behoefte aan ventileren af, wat het meten lastiger maakt. De verwerking van de resultaten geeft antwoord op de volgende vragen:

- Tot hoe ver achter de werkende ventilator is nog een impuls vast te stellen? Dit bepaalt de minimale afstand tussen ventilator en groenelement.
- Tot welke hoogte achter de ventilator is de emissie gestegen op de hierboven bepaalde afstand? Dit bepaalt de minimaal benodigde hoogte van het groenelement om alle emissie door het groenelement te laten stromen en daarmee de maximale afvangst te behalen.

De resultaten van dit onderzoek geven een indicatie van de randvoorwaarden die aan een groenelement gesteld moeten worden m.b.t.:

1. de afstand tot de ventilator en
2. de hoogte van de bomen.

Tevens zijn deze gegevens geschikt voor modelontwikkeling van de verspreiding van een emissiepluim uit een ventilator. De rapportage is beknopt en geeft de resultaten van dit onderzoek weer.

2. Materiaal en methoden

2.1 Opstellen van een plan van aanpak

Metingen aan wind en ventilatoren is complex en maken het opstellen van een plan van aanpak noodzakelijk. In het plan van aanpak zijn de randvoorwaarden opgesteld voor het praktijkbedrijf, welke metingen worden uitgevoerd en op welke manier. Ook wordt een afweging gemaakt tussen praktische haalbaarheid en beoogd resultaat.

2.2 Randvoorwaarden voor het praktijkbedrijf

In het plan van aanpak worden randvoorwaarden opgesteld voor het praktijkbedrijf. Het praktijkbedrijf moet een bedrijf zijn:

- Met lengteventilatie: omdat deze voor hun omgeving de meeste belasting betekening met betrekking tot fijnstofemissies.
- Met draaiende ventilatoren, weinig of geen leegstand: zodat de kans op het kunnen doen van metingen zo min mogelijk afhankelijk is van leegstand zodat er dus altijd geventileerd wordt.
- Met een open, obstakelvrije ruimte achter de ventilatoren (minimaal 50 m): zodat de uitstroom van de ventilatoren niet gehinderd wordt door obstakels in het uitstroombied.
- liggend in de lengterichting oost-west tot zuid-noord met de ventilatoren in een richting tussen oost en noord: omdat de heersende windrichting in Nederland zuidwest is, is de kans op het kunnen doen van metingen met de ventilatoren aan de benedenwindse kant dan het grootst.

2.3 Het praktijkbedrijf

De vrij strak omschreven eisen voor een geschikt bedrijf zijn slechts van toepassing op een klein aantal bedrijven in de regio Gelderse Vallei. De keuze is op een bedrijf in de omgeving van Wageningen gevallen. Het bedrijf heeft een stal met lengteventilatie gericht op het oosten waarin leghennen worden gehouden. Achter de stal aan de kant van de ventilatoren liggen betonnen platen en staat een mestopslag (Figuur 4). De mestopslag ligt gedeeltelijk in de uitstroom van de ventilatoren waardoor gekozen is om alleen te meten als de rechter ventilator aanstaat (vooraanzicht). Het bedrijf heeft twee grote ventilatoren van 40.000 m³ per uur die aan of uit kunnen, en drie kleinere regelbare ventilatoren van 15.000 m³ per uur (Figuur 4). De ventilatoren zijn temperatuur gestuurd met een streef temperatuur in de stal van 20°C. De regelbare ventilatoren staan doorgaans aan en bij oplopende temperatuur wordt overgeschakeld naar de grote ventilatoren. Als een grote ventilator nodig is voor de koeling in de stal, staat deze gedurende 20 minuten aan. Daarna gaat de andere grote ventilator 20 minuten aan. Bij oplopende temperaturen gaan beide grote ventilatoren aan. De ondernemer past het programma van de ventilatoren niet zelf aan. De lamellen van de ventilatoren sturen de uitstroom in eerste instantie naar beneden zoals te zien is in Figuur 4 rechts. De uitstroom uit de ventilatoren heeft daardoor een uitstroombinding die afwijkt van horizontaal.



Figuur 4. Overzicht van het betonveld achter de stal en de mestopslag (links) en een detail van de kleine, regelbare ventilatoren die aanstaan (rechts).

2.4 Rookproeven

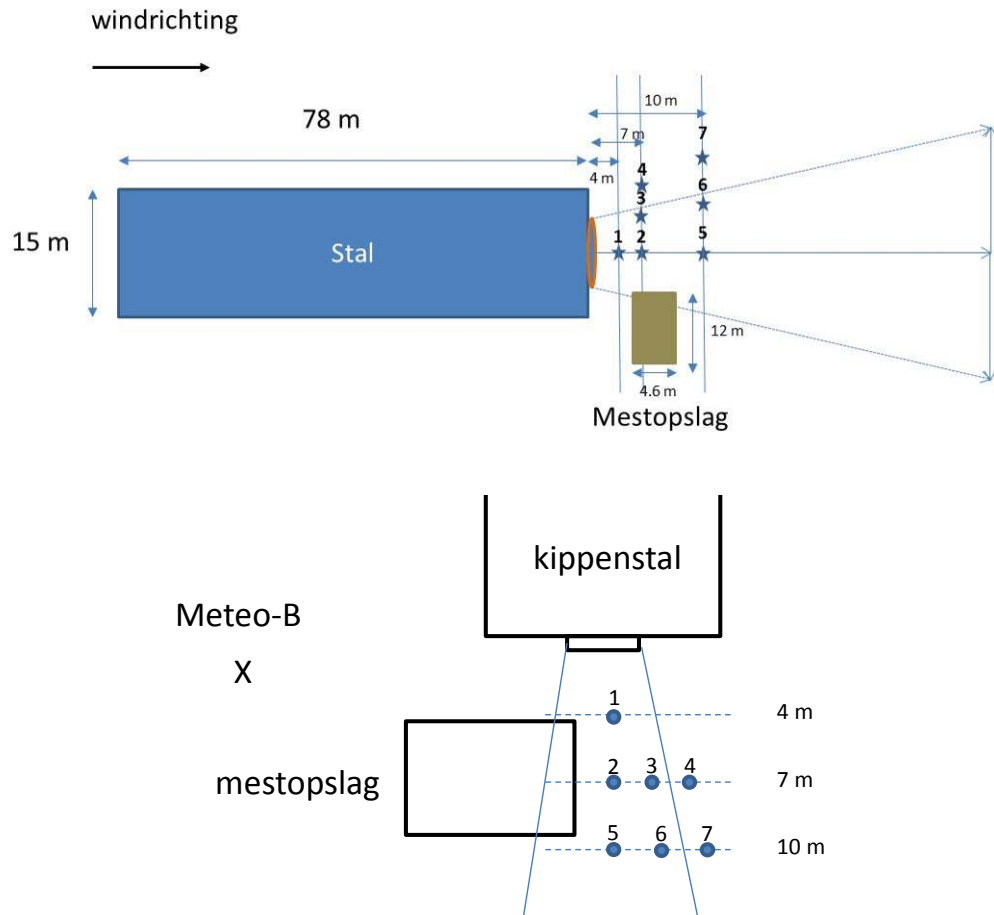
Rookproeven geven een visueel beeld van de luchtbewegingen die de ventilator veroorzaakt (Figuur 5). Het is een indicatieve methode waarbij visueel gemaakt wordt hoe de lucht uit de ventilator stroomt en waar deze in eerste instantie naar toe gaat. De rookproeven moeten antwoord geven op de vraag tot welke afstand en hoogte de lucht uit de ventilator zich verspreidt en hoe de lucht uit de ventilator in de lucht gemengd wordt die over het dak van de stal naar beneden komt. Op dit grensvlak ontstaat turbulentie, menging van ventilatorlucht en lucht van over de dakrand.



Figuur 5. Enkele voorbeelden van emissies uit een stallen. Links: van internet, rechts Worley et al. (2013).

2.5 Metingen van het windveld

De windmetingen worden uitgevoerd met ultrasoon windmeters (Windmaster 3D, Gill Instruments) op 7 locaties achter de ventilator, op 4, 7 en 10 m afstand (Figuur 6) en op meerdere hoogten, 0,6, 1, 2, 3, 4 en 6 m. De meetfrequentie is 20 Hz. Het regime van de ventilatoren is sturend geweest voor de meetperiode per meetsessie. Dit betekent dat een meetsessie 20 minuten duurt en metingen worden alleen uitgevoerd als de kleine ventilatoren aan staan (ventilatortoestand 'O') of de kleine ventilatoren plus de rechter grote ventilator (ventilatortoestand 'R').



Figuur 6. Bovenaanzicht van de stal met afmetingen (boven) en een detail van de meetlocaties achter de ventilatoren (onder).

Tabel 1. Positienummers (vet) en locatie (overeenkomend met nummers in Figuur 6).

X [m]	Y [m]					
	0	2	3	4	6	
4	1					
7	2	3		4		
10	5		6		7	

De windsnelheid is op diverse hoogten per positie gemeten. Daarbij hing de laagste windsnelheidsmeter op 0,6 m en de hoogste op 6 m bij alle uitgevoerde metingen. De windsnelheidsmeters werden gemonteerd aan een verrijdbare stelling zodat eenvoudig van positie gewisseld kon worden. De snelheidsmeters zaten aan de linker voorkant (zie Figuur 7), zodat de stelling zo min mogelijk hinder zou opleveren voor de toestromende lucht.



Figuur 7. Een overzicht van de windmeters op de verschillende hoogtes terwijl de kleine ventilatoren aan staan (links) en een detailopname van de windmeters (rechts).

Tabel 2. Overzicht van het aantal uitgevoerde metingen waarbij drie kleine ventilatoren aan staan (ventilatortoestand O) of drie kleine ventilatoren plus rechter grote ventilator (ventilatortoestand R) per positienummer en locatie.

Positie	Locatie		Ventilatortoestand	Hoogte [m]					
	X [m]	Y [m]		0,6	1	2	3	4	6
1	4	0	O	7	6	7	7	7	7
2	7	0	O	6	6	6	6	5	6
3	7	2	O	6	6	6	6	6	6
4	7	4	O	4	4	4	4	4	4
5	10	0	O	4	4	4	4	4	4
6	10	3	O	4	4	4	4	4	4
7	10	6	O	4	4	4	4	4	4
1	4	0	R	5	5	5	5	5	4
2	7	0	R	5	5	5	5	5	4
3	7	2	R	4	4	4	4	4	3
4	7	4	R	4	4	4	4	4	3
5	10	0	R	4	4	4	4	4	3
6	10	3	R	3	3	3	3	3	2
7	10	6	R	4	4	4	4	4	3

3. Resultaten

3.1 De rookproeven

De oriënterende rookproeven lieten zien dat in eerste instantie de rook naar de grond werd geblazen (Figuur 8). Dit komt doordat de lamellen van de ventilatoren naar beneden zijn gericht. Daarna verspreidde de rook zich en nam de snelheid van de wolk af. De rook was tot ver achter de stal te zien. Verder van de stal af was er een plek waar de rook nog wel zichtbaar was maar het proces van verspreiden (groter worden van de rookpluim) niet meer. Dit was een indicatie dat de menging van lucht uit de ventilator en de buitenlucht niet meer optrad en de stalemissie zich als een luchtlag ging gedragen. De rookproeven lieten tevens zien dat de rook beperkt tegen de mestopslag aan botste: de verstoring was aanwezig maar slechts beperkt.

Op grond van deze rookproeven is besloten dat windmetingen konden worden uitgevoerd en de impuls van de ventilator, ondanks de nabijheid van de mestopslag, goed bepaald kon worden.



Figuur 8. Een beeld uit de rookproeffilm. De rookgenerator is in het midden van de grote rechter ventilator geplaatst. Een bewegend beeld geeft beter aan hoe de rook zich verspreidt. Daarom is hier met stippelijntjes schematisch aangegeven hoe de rook zich verspreidde.

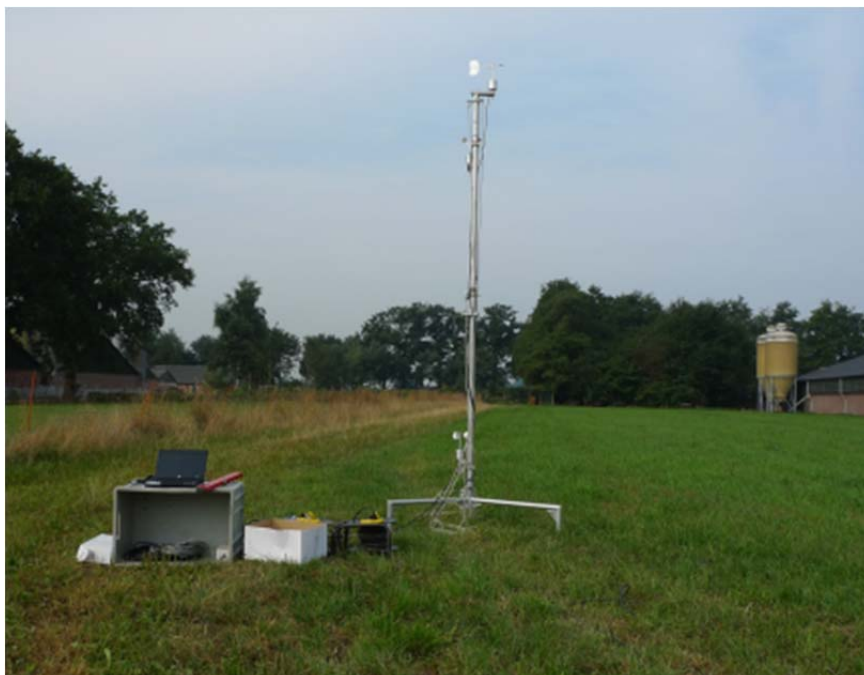
3.2 Windprofielmetingen

3.2.1 Windprofiel in het vrije veld

Om de omgevingswind vast te stellen, werd op een grasveld naast de kippenstal de windsnelheid gemeten op twee hoogtes, te weten 0,75 m en 2,50 m (Figuur 9). Deze opstelling wordt aangeduid als 'meteo B'. Op enige afstand (>100 m) wind opwaarts stonden bomen langs de doorgaande weg (Figuur 9). Bij benadering is verondersteld dat het windprofiel met de hoogte logaritmisch was:

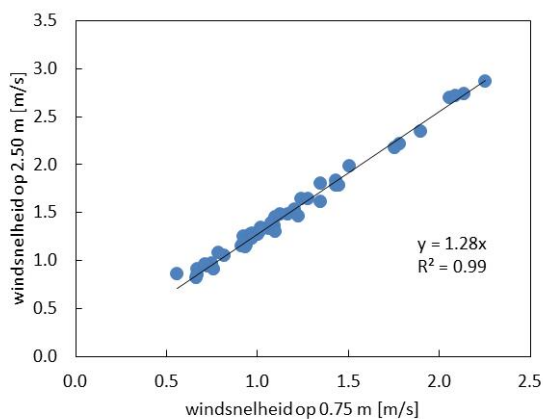
$$w = w_R \ln\left(\frac{z-z_d}{z_0}\right) \quad (1)$$

Hierin is w_R een nog nader te bepalen 'referentiewindsnelheid' (m/s), z_d (m) is een nulpuntsverschuiving op de z-as als correctie voor de gewashoogte; z_0 (m) is de ruwheidslengte. Het gewas is in dit geval een grasveld met een gemiddelde hoogte h_0 . Als vuistregels worden gewoonlijk toegepast: $z_d = 0,7 \cdot h_0$, en $z_0 = 0,1 \cdot h_0$. Daarmee wordt de windsnelheid op hoogte z een functie van z zelf, van de referentie w_R en van de gewashoogte h_0 .



Figuur 9. Meteo B in het vrije veld naast de stal.

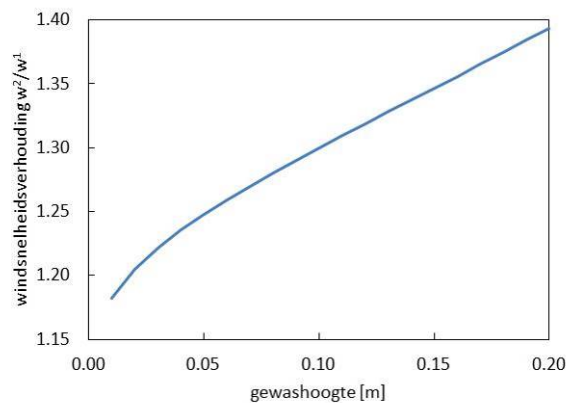
Figuur 10 toont de vergelijking tussen windsnelheid w_1 op 0,75 m en w_2 op 2,50 m voor elk van de 65 meetseries. De trendlijn laat zien dat hun verhouding ongeveer 1,28 bedraagt.



Figuur 10. Verband tussen windsnelheid op 0,75 m en op 2,50 m boven gras.

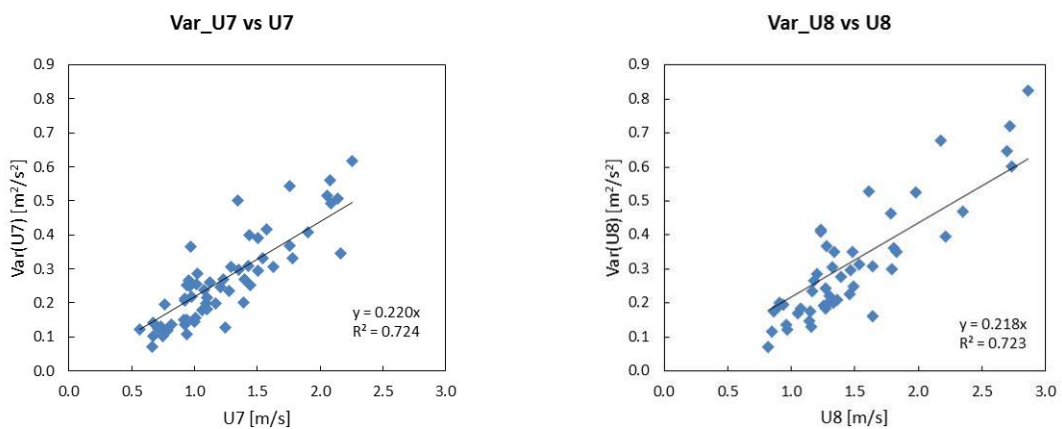
Onder aanname van het bovenstaande logaritmische windprofiel, en met de gemeten verhouding w_2/w_1 van de windsnelheden op de beide hoogtes, is een schatting te maken van de gewashoogte h_0 . Figuur 11 toont de berekende verhouding w_2/w_1 voor verschillende waarden van de gewashoogte h_0 . Hieruit is af te leiden dat de verhouding 1,28 optreedt bij een gewashoogte van ongeveer 0,08 m. Dit is een acceptabele waarde voor het grasveld naast de stal. Dit betekent dat het logaritmisch windprofiel bruikbaar is om de windsnelheid op een willekeurige hoogte te schatten met behulp van Vgl. (1). Hiervoor is nog wel de waarde van w_R nodig. Deze verschilt voor elk van de 65 meetseries, maar kan (nu h_0 bekend is) worden berekend met Vgl.(1), zowel uit de meetwaarde w_1 op hoogte z_1 als uit de meetwaarde w_2 op hoogte z_2 . Middelen van de beide w_R waarden op deze wijze verkregen, levert een goede schatting op van de te gebruiken w_R .

Nu kan de windsnelheid in het vrije veld op 6 m hoogte worden berekend voor alle 65 meetseries. Deze dient als vergelijkingswaarde voor de windsnelheden achter de kippenstal, die tot een hoogte van 6 m zijn gemeten.



Figuur 11. Berekende verhouding w_2/w_1 als functie van veronderstelde gewashoogte. De gevonden verhouding van 1,28 duidt op een grashoogte van ca. 0,08 m.

Naast de gemiddelde windsnelheid op 6 m hoog is ook de bijbehorende nauwkeurigheid van belang. Deze nauwkeurigheid wordt bepaald door de standaardafwijking in de windsnelheid, ofwel de wortel van de variantie. De variantie van de beide windsnelheden op 0,75 m en 2,50 m hoog blijkt in een nagenoeg vaste verhouding tot de windsnelheid zelf te staan (zie Figuur 12): $\text{Var}(U)/U \sim 0.22$ m/s. Het is daarom aannemelijk dat dezelfde verhouding ook op 6 m hoogte toegepast mag worden. Daarmee kan de variantie in de windsnelheid op 6 m hoogte in het vrije veld geschat worden en dus ook de standaardafwijking.



Figuur 12. Variantie en gemiddelde windsnelheid op 0,75 m hoog (links) en 2,50 m hoog (rechts) in het vrije veld van Meteo B.

De berekende windsnelheden van de meetseries op 6 m hoog variëren van ca. 0,9 tot 3,3 m/s met een gemiddelde van 1,8 m/s. De bijbehorende standaardafwijking loopt van ca. 0,45 tot 0,85 m/s met een gemiddelde van 0,6 m/s. Deze laatste waarde zal verderop als indicatie van de ruis in de achtergrond van luchtsnelheden gebruikt worden: een maat voor de ondergrens van onderscheidbare luchtsnelheden.

3.2.2 Scheiding van ventilatorprofiel en windprofiel

Achter de stal zijn luchtsnelheidsprofielen gemeten tussen hoogtes 0,6 m en 6 m. De gemeten snelheden zijn de som van de luchtsnelheid veroorzaakt door de uitstroom van de ventilatoren en de snelheid van de wind die over de stal heen komt. Helaas zijn deze twee bijdragen niet eenvoudig te scheiden.

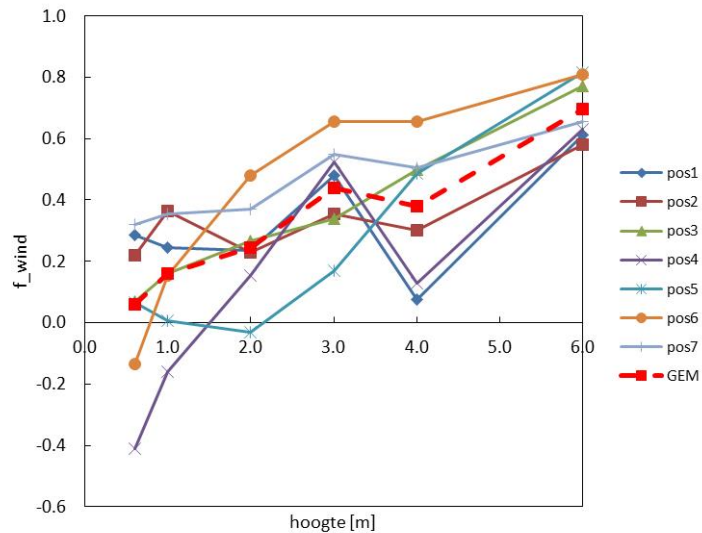
In Figuur 6 zijn de 7 posities te zien waar het verticale windprofiel is gemeten achter de kippenstal. Posities 1, 2 en 5 vormen de middenlijn (d.w.z. $Y=0$ m). We noemen de loodrechte afstand tot de stal x , de afstand tot de middenlijn y en de hoogte boven de grond z . Stel op een bepaalde meetpositie (x,y) en hoogte (z) is de ventilatorbijdrage $v(x,y,z)$ aan de gemeten luchtsnelheid constant. Bij herhaald meten op die positie is de variatie dan alleen afkomstig van variatie in de wind $w(x,y,z)$ die over de stal heen komt. Nemen we verder aan dat deze bijdrage $w(x,y,z)$ evenredig is met de wind w_v in het vrije veld op 6 m hoogte, dan is de gemeten windsnelheid op positie (x,y,z) gelijk aan:

$$u(x, y, z) = v(x, y, z) + f_w(x, y, z) \cdot w_v \quad (2)$$

De factor $f_w(x,y,z)$ geeft aan welke fractie van w_v op de gegeven positie nog merkbaar is. Voor een gekozen positie (x,y,z) is bovenstaande vergelijking een lineaire functie van w_v . In een grafiek van u tegen w_v is dan de asafsnede (Y -intercept) gelijk aan v en de helling gelijk aan f_w . Per positie zijn echter maar weinig metingen beschikbaar, zodat het fitten van deze vergelijking aan meet data een grote spreiding vertoont. In een aantal gevallen bij $x=10$ m blijkt de asafsnede (v) <0 te worden. Het is dan meer waarschijnlijk dat in die gevallen $v=0$ moet zijn, ofwel de ventilatoren dragen daar niet meer significant bij. Vgl.(2) vereenvoudigt dan tot $u=f_w \cdot w_v$.

Strikt genomen is de luchtstroom uit de ventilatoren niet constant, maar wordt automatisch geregeld naar behoefte. Een duidelijk onderscheid is of naast de drie kleine ventilatoren een grote ventilator uit of aan staat; resp. aangeduid met 'Ventilator O' en 'Ventilator R' in onderstaande tabellen (R= rechter grote ventilator aan). In de lineaire regressie is dit voorlopig het enige onderscheid waarmee rekening is gehouden. Verder kan ook de windrichting van belang zijn; dit aspect is vooralsnog niet meegenomen. Het resultaat is te zien in Figuur 13: f_w als functie van de meethoogte, op de 7 posities waar het luchtsnelheidsprofiel is gemeten. In ruwe benadering neemt f_w lineair met de hoogte toe. Op posities 6 en 7, die naar verhouding verder van de kippenstal liggen, lijkt f_w iets groter dan gemiddeld. Toch is dit geen duidelijke trend, want voor posities 1 en 2 verschilt het verloop van f_w niet veel van het gemiddelde. Bij benadering loopt f_w van 0 voor $z=0$ naar 0,70 voor $z=6$ m, of als functie uitgedrukt:

$$f_w(z) = 0,117 \cdot z \quad (3)$$

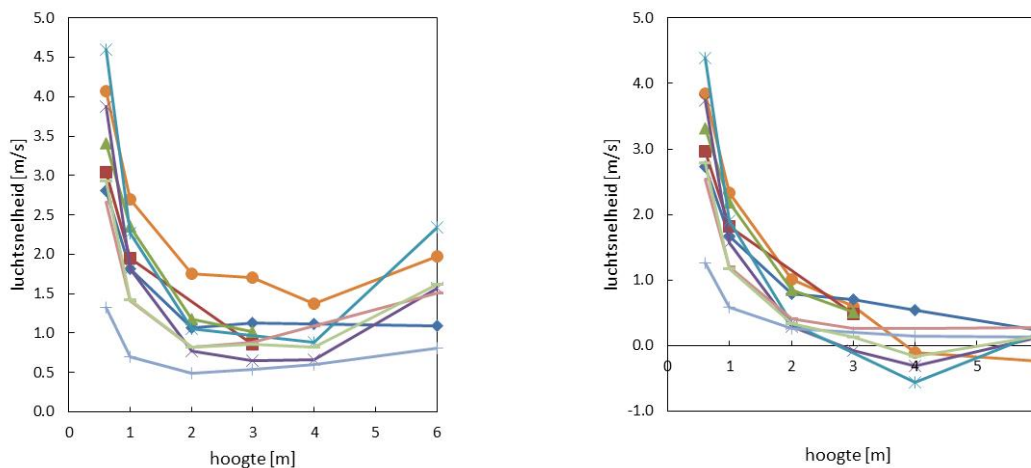


Figuur 13. Factor f_w als functie van hoogte voor de 7 posities.

Met behulp van Vgl.(3) kan nu de bijdrage van de ventilatorstroom aan de luchtsnelheid geschat worden voor elk meetpunt door te corrigeren voor de bijdrage van externe wind:

$$v(x, y, z) = u(x, y, z) - f_w(z) \cdot w_v \quad (4)$$

Figuur 14 toont gemeten profielen van luchtsnelheid met de hoogte voor en na correctie voor windbijdrage (resp. links $u(z)$ en rechts $v(z)$) op meetpositie 1 ($X=4$ m, $Y=0$ m). Duidelijk is te zien dat zonder correctie de wind vanaf ca. 3 m hoogte weer oploopt met de hoogte. Na correctie neemt de luchtsnelheid af met de hoogte, tot ongeveer 0 m/s vanaf ca. 4 m hoogte.



Figuur 14. Links: gemeten luchtsnelheidsprofielen als functie van de hoogte op positie 1 ($X=4$ m, $Y=0$ m); de lijnen geven verschillende herhalingen aan. Rechts: idem, na correctie voor schatting van windbijdrage. Alleen de kleine ventilatoren zijn aan (ventilatortoestand '0'). Voor de andere posities bij ventilatortoestand '0' wordt verwezen naar bijlage I en voor ventilatortoestand "R" naar bijlage II.

Per meetpositie is het gemiddelde gecorrigeerde profiel bepaald. Deze zijn als functie van de hoogte te zien in Figuur 15. In alle metingen neemt de lokale snelheid van de lucht uit de ventilator af met toenemende hoogte. De metingen zijn vervolgens gefit met een exponentiële functie van de hoogte:

$$v = A \cdot e^{-Bz} \quad (5)$$

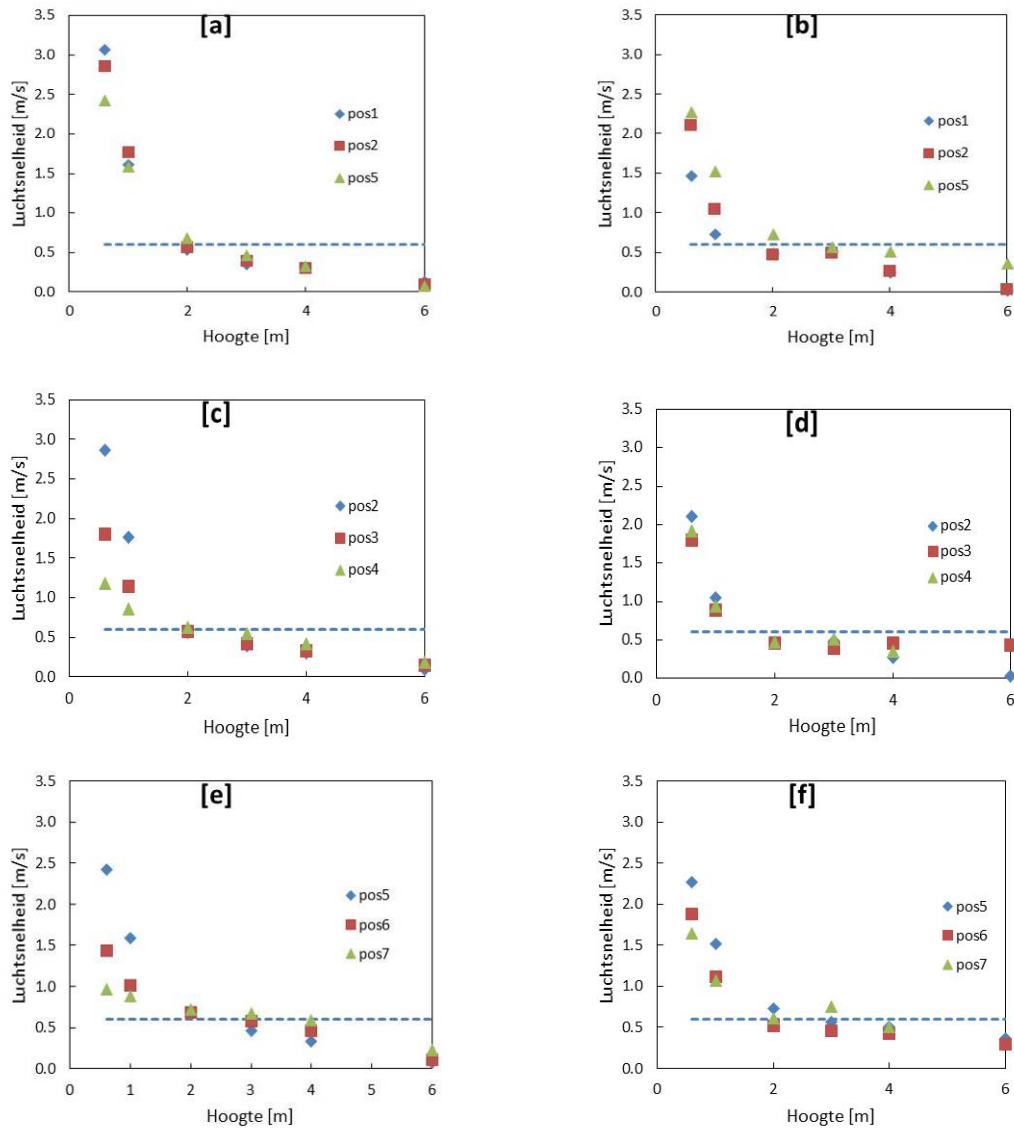
De resulterende waarden van A en B staan in Tabel 3. De waarde van A is in feite de piek in de luchtsnelheid uit de ventilator (op een zekere positie). Positienummers en werkelijke posities (X en Y coördinaten) staan in Tabel 1. De resultaten voor A uit Tabel 3, geordend naar X-Y posities, staan in Tabel 4.

Tabel 3. *Fitresultaten voor snelheidsprofielen van luchtstroom uit ventilator.*

Positie	Locatie		Ventilatortoestand: O		Ventilatortoestand: R	
	X [m]	Y [m]	A [m/s]	B [m ⁻¹]	A [m/s]	B [m ⁻¹]
1	4	0	6,63	1,33	1,78	0,56
2	7	0	5,20	1,03	3,38	0,93
3	7	2	2,48	0,65	2,20	0,61
4	7	4	1,33	0,32	2,73	0,78
5	10	0	3,74	0,78	2,96	0,56
6	10	3	1,66	0,38	2,47	0,63
7	10	6	1,09	0,20	1,94	0,43

Tabel 4. *Topwaarden (A, m/s) ingedeeld naar locatiecoördinaten voor ventilatortoestand 'alleen kleine ventilatoren aan' (O) en 'kleine plus rechter grote ventilatoren aan' (R).*

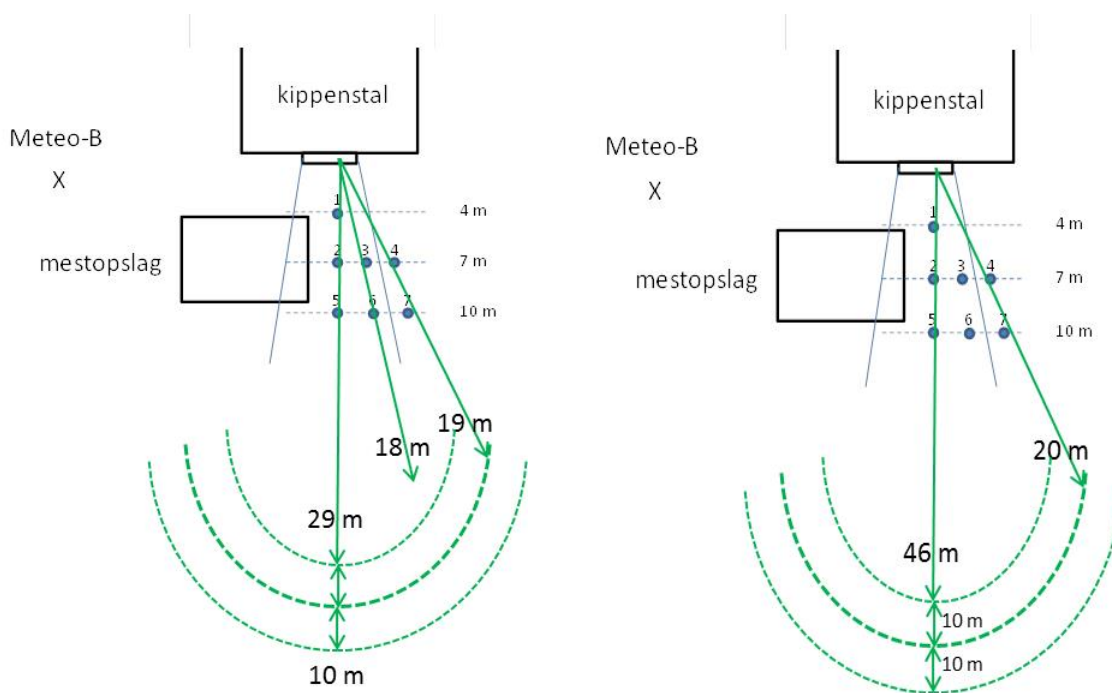
X [m]	Ventilatortoestand: O					Ventilatortoestand: R				
	Y [m]	Y [m]	Y [m]	Y [m]	Y [m]	Y [m]	Y [m]	Y [m]	Y [m]	Y [m]
	0	2	3	4	6	0	2	3	4	6
4	6,63					1,78				
7	5,20	2,48		1,33		3,38	2,20		2,73	
10	3,74		1,66		1,09	2,96		2,47		1,94



Figuur 15. Voor externe wind gecorrigeerde luchtsnelheid van de ventilatoren; profielen als functie van de hoogte, voor de 7 meetposities; (a), (c), (e): grote ventilator uit; (b), (d), (f): grote ventilator rechts aan; de streeplijn is een indicatie van de detectiegrens (0,6 m/s).

Wanneer A kleiner wordt dan de standaardafwijking in de externe windsnelheid (0,6 m/s, zie paragraaf 3.2.1), is het profiel niet meer te onderscheiden van dat van de wind die over de stal heen waait. In Tabel 4 is te zien dat voor ventilatortoestand 'O' de A -waarden op de posities 1, 2 en 5 ($Y=0$ m (recht voor de ventilator) voor resp. $X=4$, 7 en 10 m) afnemen met toenemende afstand X . Onder veronderstelling dat deze afname exponentieel is, is te schatten dat de grens van 0,6 m/s wordt bereikt als $X_{\text{grens}} \sim 29$ m. De posities $X=7$, $Y=2$ en $X=10$, $Y=3$ vormen bij benadering ook een rechte lijn vanaf de stalventilatoren. Het zijn slechts twee punten, maar op basis van deze twee punten wordt de ondergrens van A bereikt op $X_{\text{grens}} \sim 18$ m. Evenzo voor $X=7$, $Y=4$ en $X=10$, $Y=6$: $X_{\text{grens}} \sim 19$ m.

Voor ventilatortoestand 'R' is de A -waarde op $X=4$, $Y=0$ lager dan voor grotere X . Mogelijk raakt in deze situatie de uitstromende luchtstroom de grond pas op een iets grotere afstand. Gebruiken we alleen de waarden op $X=7$ en $X=10$ (bij $Y=0$), dan blijkt $X_{\text{grens}} \sim 46$ m. Bij de combinatie $X=7$, $Y=2$ met $X=10$, $Y=3$ neemt A niet af en kan dus niet gebruikt worden om een waarde van X_{grens} te schatten. Voor $X=7$, $Y=4$ en $X=10$, $Y=6$ kan dat wel: $X_{\text{grens}} \sim 20$ m. Het gemiddelde van alle berekende afstanden is ongeveer 25 m (± 10 m). De waarde van 46 m is vermoedelijk een uitschieter.



Figuur 16. Berekende minimale afstand (dikke gestippelde groene lijn) waarbij de impuls van de ventilator niet meer waarneembaar is bij ventilator toestand 'O' (links) en ventilator toestand 'R' (rechts). Een onzekerheid van 10 meter is aangegeven rondom dikke groene lijn (dunne gestippelde groene lijn) (niet op schaal).

Samenvattend: de schattingen van de reikwijdte van de luchtstroom uit de ventilatoren geven een ruwe indicatie. Deze ruwe indicatie geeft aan dat de reikwijdte zo'n 25 m (± 10 m) is.

4. Discussie en conclusies

De afstand waarbij de impuls van de ventilator nog is vast te stellen

Deze studie geeft antwoord op de vraag tot welke afstand achter de ventilatoren de impuls ervan nog is vast te stellen. Voor de ventilatortoestand 'O' wordt dit geschat op 25 m (± 10 m) en voor de ventilatortoestand 'R' op 46 m (± 10 m) recht voor de ventilatoren. Deze afstand loopt in een boog rondom de ventilatoren. De uitstroomsnelheid van de kleine ventilatoren is maximaal 7,3 m/s en dat is lager dan bij de grote ventilator, 9,1 m/s.

Een grotere impuls is tot een grotere afstand waar te nemen. De ventilatoren in dit onderzoek zijn gangbare ventilatoren (Winkel *et al.* 2009). Daarmee is de afstand tussen ventilatoren en bomenrij die in dit onderzoek is vastgesteld geschikt voor bedrijven met lengteventilatie. Het maakt daarbij niet uit welke dieren in de stal worden gehuisvest. De afstand waarop de impuls van de ventilator nog is vast te stellen is niet afhankelijk van de dieren maar van de ventilatoren en de externe omstandigheden (windsnelheid, -richting, vorm van de stal, zie hieronder). Een ander aspect waar rekening mee gehouden moet worden bij het bepalen van de afstand is de belasting met ammoniak vanuit de ventilator en de gevoeligheid van de bomen voor deze emissie (Pronk *et al.* 2013b). De afstand van 25 m is betrekkelijk kort op de ventilatoren vanuit het perspectief van gewasschade door ammoniakemissies (Dijk *et al.* 2001). Ammoniakemissies van meer dan 2200 kg per jaar vormen een groot risico voor de beplanting op 25 m van de ventilatoren, zoals het beslisschema voor een snelle inventarisatie voor risicovolle situaties aangeeft (Bijlage III, Figuur 17). Bij grotere ammoniakemissies moet de afstand groter worden om schade te voorkomen. De gevoeligheid van de geplante bomen voor ammoniak speelt eveneens een rol. Bij het aanleggen van de bomenrij moet daarmee rekening gehouden worden.

Eveneens is het zo dat variaties in de concentratie ammoniak of stof uit de stal geen invloed hebben op de afstand waarop de uitstroom in de externe windstroom overgaat, aangezien deze afstand is bepaald op basis van luchtsnelheden die onafhankelijk van de concentraties zijn. Voor het berekenen van de minimaal benodigde afstand waarop minimale risico's bestaan op gewasschade door ammoniak is het wenselijk het beslisschema uit Bijlage III te volgen.



Figuur 17. Effecten van stalemissies op beplanting vlak achter de ventilatoren (Colletti et al. 2006).

Een hogere windsnelheid en een andere windrichting

Een hogere windsnelheid heeft twee gevolgen. Ten eerste wordt de variantie van het windprofiel groter en daardoor is het onderscheid tussen ventilatorprofiel en windprofiel minder makkelijk, d.w.z. het ventilatorprofiel valt sneller samen met het windprofiel. In Figuur 15 wordt de detectiegrens van 0,6 m/s groter (de stippellijn ligt hoger) zodat de plaats waarop geen onderscheid meer gemaakt kan worden tussen de twee profielen iets dichterbij de ventilator ligt. Het ventilatorprofiel hangt immers niet af van het windprofiel maar alleen van het debiet van de ventilatoren. Ten tweede verplaats de emissie in het ventilatorprofiel sneller van de bron af doordat het harder waait, wat de verticale spreiding van de pluim op een bepaalde afstand zou kunnen beperken. Maar bij meer wind is er ook meer turbulentie, wat juist verticale spreiding doet toenemen. Effectief blijkt verticale spreiding nauwelijks van windsnelheid afhankelijk te zijn. Dit betekent dat als een zekere boomhoogte bij weinig wind geschikt is, deze ook bij veel wind geschikt blijft.

Een andere windrichting heeft tot gevolg dat de pluim van de ventilator in de richting van de externe wind afbuigt. De berekende afstanden blijven geldig, maar dan gerekend langs de afgebogen luchtstroom uit de ventilatoren.

De optimale hoogte van een groenelement om de stofwolk af te kunnen vangen

De luchtstraal uit de ventilatoren neemt in sterkte af met toenemende afstand. Tegelijkertijd wordt de luchtstraal breder en hoger. Als vuistregel geldt dat de luchtstraal uitdijt onder een hoek van ca. 20° ten opzichte van de as van de straal (Eck 1961). Deze uitdijing is naar links en rechts, naar boven (en naar beneden als de as van de straal boven de grond ligt). De uitdijing is nagenoeg onafhankelijk van de windsnelheid. Op basis van deze hoek is te berekenen dat op een afstand van 10 m de luchtstraal ca. 3,6 m hoger is geworden ten opzichte van de starthoogte. Ligt het beginpunt op 1,3 m boven de grond zoals in dit onderzoek, dan is op 10 m afstand de effectieve hoogte ongeveer 4,9 m. Dit komt overeen met de globale uitkomsten van de rookproef (Figuur 8).

Bij een afstand van 25 meter tussen ventilator en bomenrij is uitdijing ca. 9 m. De luchtstroom uit de ventilator heeft een totale hoogte van ruim 10 m als het startpunt op 1,3 m boven de grond ligt. Voor een goede afvangst van fijnstof moeten de bomen op 25 m daarom ten minste 10 m hoog zijn. Tevens moet rekening gehouden worden met de stijging van de lucht doordat de bomen een obstakel vormen. Op een afstand voor de bomenrij van ongeveer 5 maal de hoogte van deze bomenrij, begint de opstuwning al enigszins merkbaar te worden. In de situatie dat de bomenrij achter een stal staat, zal de luchtstroom die over het dak naar beneden komt, reeds door de bomenrij gehinderd worden. De daling van de luchtstroom zal daardoor kleiner zijn dan in de situatie zonder bomenrij. Ook de ventilatorlucht wordt omhoog gestuwd door de bomenrij en zal de neiging hebben gedeeltelijk eroverheen te stromen. Enkele meters extra hoogte (boven de 10 m) kan daarom nuttig zijn om iets meer stof af te vangen.

Schattingen voor de afvangst van fijnstof door een groenelement achter de stal op 25 m van 10 m hoog

Hofschreuder (2011) heeft een schatting gemaakt van de afvangst van stof en fijnstof door een groenelement met een ringvormige vegetatie rond de ventilatoren. Het huidige onderzoek laat zien dat de afstand waarop de impuls van de ventilatoren niet meer onderscheidbaar is van het heersende windprofiel, recht achter de ventilatoren wat groter is dan schuin achter de ventilatoren (Figuur 16). De keuze voor een ringvormige vegetatie wordt daardoor ondersteund.

De berekende afvangst van fijnstof (PM₁₀) door een dergelijk groenelement door Hofschreuder (2011) was ongeveer 11% van de PM₁₀ hoeveelheid die via de ventilatoren aan de buitenlucht wordt toegevoegd. Eerder onderzoek naar de afvangst van fijnstof door een haag geplaatst in het vrije veld, liet zien dat voor relatief grote fijnstofdeeltjes tot maximaal 44% van de massa in de haag achterbleef (Pronk *et al.* 2012). Dit onderzoek werd uitgevoerd met een deeltjesgrootteverdeling met een aerodynamische diameter lopende van 4,7 – 10 µm (Pronk *et al.* 2013a). Een aantal van de aannames uit de berekening van Hofschreuder (2011) kunnen nu onderbouwd worden ingevuld.

Voor de berekening zijn de volgende kengetallen gebruikt:

- Van de massafractie fijnstof met een aerodynamische diameter van 4,7 – 10 µm die een bomenrij instroomt, wordt ongeveer 30 tot 40% afgevangen (Pronk *et al.* 2012; Pronk *et al.* 2013a).
- 94% van het massapercentage fijnstof uit veehouderijbedrijven heeft een deeltjesgrootte tussen de 2,5 en 10 µm (Aarnink *et al.* 2011). Gegevens over het massapercentage van deeltjes tussen 4,7 - 10 µm worden niet gegeven in deze studie. Aangenomen wordt dat dit percentage 90% is.

- De bomerij staat op 25 m van de ventilatoren zodat de emissie homogeen gemengd is in de lucht (deze studie).
- De bomerij is minimaal 10 meter hoog zodat vrijwel alle emissie de bomerij instroomt (hoogte komt uit deze studie).

De berekende afvangst als massapercentage van de stalemissie aldus berekend:

Fractie emissie die de bomerij instroomt * Fractie fijnstof 4,7 - 10 µm * fractie afvangst =

100% * 90% * 30% = 27%.

Het aldus berekende afvangstpercentage is hoger dan dat berekend door Hofschreuder (2011) als een eerste schatting. Toch is dit geen optimistische schatting omdat voor het afvangstpercentage voor relatief grote fijnstofdeeltjes de ondergrens uit het onderzoek is aangehouden, 30%. Wel moet hierbij bedacht worden dat in deze berekening alle emissie door het groenelement stroomt. Bij een ringvormig groenelement om de ventilatoren van een stal met lengteventilatoren op minimaal 25 m met een hoogte van minstens 10 m zal dit bij benadering zo zijn. Plaatsing op een grotere afstand vereist een hoger groenelement.

Het aldus berekende afvangstpercentage is enkele procenten hoger dan het meest gunstige resultaat uit windtunnelonderzoek van maximaal 24% afvangst (Pronk *et al.* 2014). Het verschil komt doordat in het windtunnelonderzoek maximaal 70% van de ventilatorlucht door het groenelement stroomt. Het groenelement in dat onderzoek was lager dan noodzakelijk volgens deze studie, 7 m in navolging van Hofschreuder (2011) even hoog als de nokhoogte van de stal.

Stappenplan voor het bepalen van de afstand 'ventilator-groenelement' rondom een stal

In dit onderzoek is de geschatte minimaal benodigde afstand tussen ventilatoren en groenelement voor optimale afvangst van fijnstof ongeveer 25 m (± 10 m) en de benodigde minimale hoogte 10 m. Echter, deze afstand geeft een zeer groot risico op gewasschade van de beplanting in het groenelement door ammoniakemissies en is alleen mogelijk voor stallen die maximaal 2200 kg ammoniak per jaar emitteren. Voor het bepalen van de minimale afstand voor optimale afvangst van fijnstof enerzijds en minimale risico's op gewasschade aan het groenelement anderzijds, dient het beslisschema uit Bijlage III gevolgd te worden. Een kortere afstand dan de afstand waarbij een groot risico optreedt is onwenselijk (scheidslijn tussen vak A en vak B). De afstand van deze scheidslijn tussen vak A en vak B is vervolgens uitgangspunt voor de berekening van de hoogte van de emissiepluim (zie: *De optimale hoogte van een groenelement om de stofwolk af te kunnen vangen*).

Conclusies

Op basis van deze studie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De impuls van de ventilator is tot ongeveer 25 m (± 10 m) achter de ventilator niet meer vast te stellen en daarmee opgenomen in de heersende wind.
- De impuls van de ventilator is tot 10 m hoogte niet meer vast te stellen.
- De afstand tussen ventilator en groenelement uit dit onderzoek is even groot als de minimale afstand die op basis van ammoniakemissie nodig is om gewasschade aan het groenelement te voorkomen.

De emissie van een ventilator is op 25 m van de bron volledig in de omgevingswind opgegaan en heeft zich tot ongeveer 10 meter hoog verspreid op deze afstand van de bron. Een bomerij op minimaal 25 m van de ventilatoren van minimaal 10 meter hoog zal daardoor doorstroomd worden met vrijwel alle emissies afkomstig van de ventilatoren. Hierdoor wordt de afvangcapaciteit van een groenelement maximaal benut.

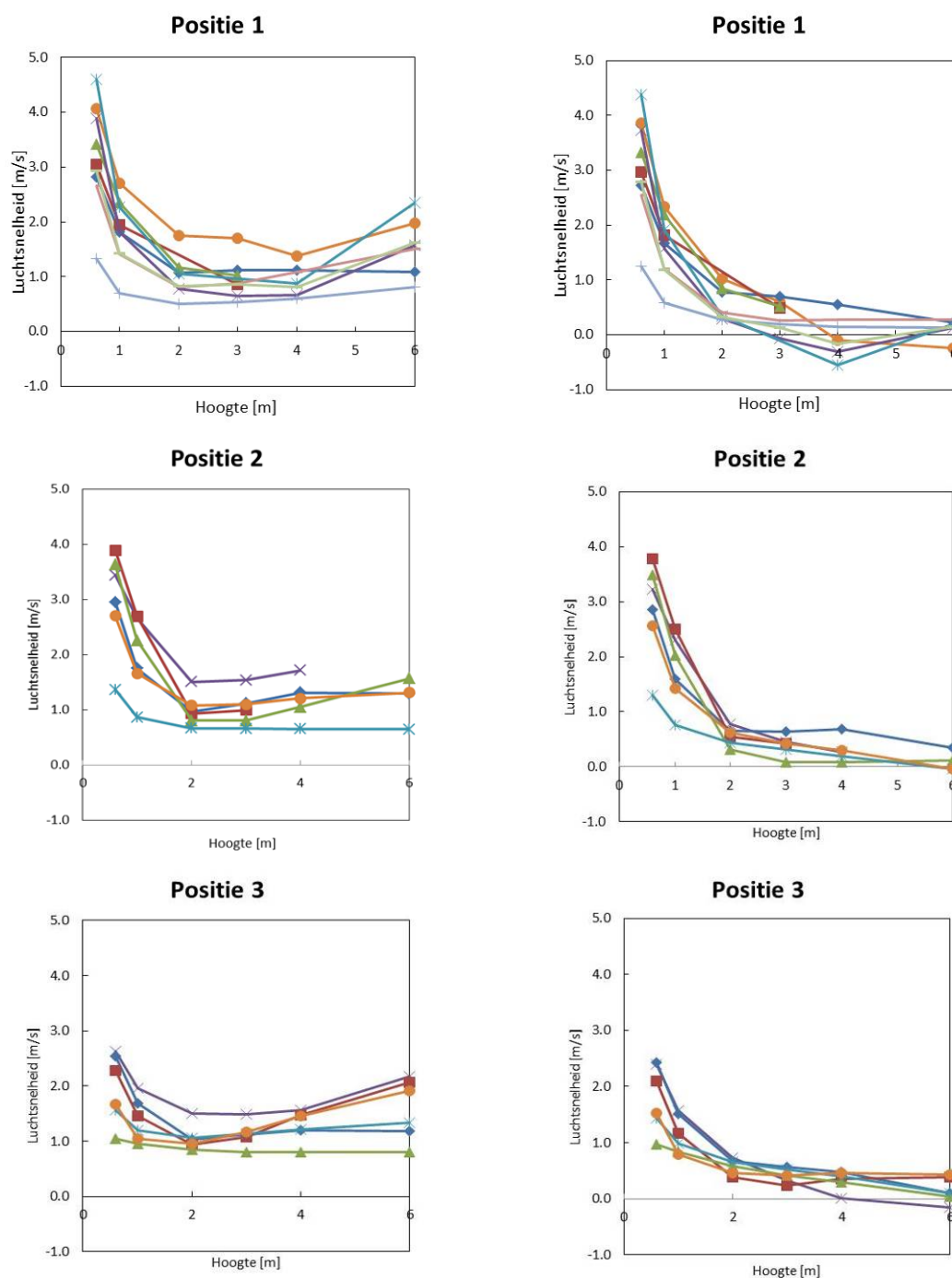
Deze afstand kan alleen toegepast worden bij bedrijven/stallen die tot 2200 kg ammoniak per jaar emitteren. Bij hogere ammoniakemissies moet de afstand groter zijn om gewasschade te voorkomen. De ammoniakemissie zal daardoor in eerste instantie bepalend zijn voor de afstand en in mindere mate de impuls uit de ventilatoren. De minimaal benodigde hoogte van het groenelement zal op basis van de minimale afstand gebaseerd op ammoniakemissies, berekend moeten worden.

Literatuur

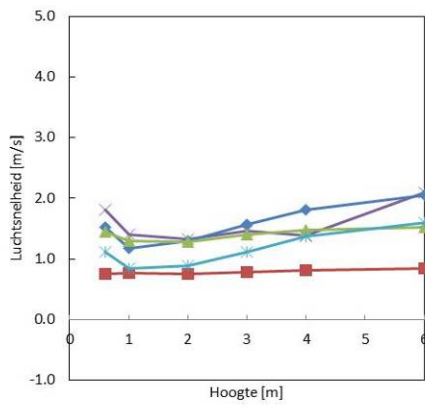
- Aarnink A.J.A., M. Cambra-López, H.T.L. Lai & N.W.M. Ogink, 2011. Deeltjesgrootteverdeling en bronnen van stof in stallen: samenvattende rapportage. 1570-8616, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad, 22 p pp.
- Colletti J., S. Hoff, J.R. Thompson & J.C. Tyndall, 2006. Vegetative Environmental Buffers to Mitigate Odor and Aerosol Pollutants Emitted from Poultry Production Sites. *In* Workshop on Agricultural Air Quality, 2006. pp. 284-291.
- Dijk C.J.v., J. Franzaring & A.J.v. Alfen, 2001. Invloed van ammoniak op boomkwekerijgewassen en fruitbomen. Plant Research International, Wageningen. 28 p p.
- Eck B., 1961. Technische Stroemungslehre. Springer, Berlin. 453 p.
- Hanna R.S., 1982. Applications in air pollution modelling. *In* Atmospheric turbulence and air pollution modelling: a course held in The Hague, Eds F.T.M. Nieuwstadt & H. van Dop. pp. 275-310. Reidel Publishing Co, Dordrecht
- Hofschreuder P., 2011. Stroming van ventilatielucht uit stallen door groenelementen. Intern rapport, Animal Sciences groep WUR, Wageningen, 13 pp.
- Pronk A.A., H.J. Holterman, P. Hofschreuder, E. Lovink, J.P.M. Ploegaert & W. de Visser, 2012. Onderzoek naar de interceptie van fijnstof door opgaande gewassen. Rapport 474, Plant Research International, Wageningen, 52 pp.
- Pronk A.A., H.J. Holterman & N. Ogink, 2013a. Depositie van fijnstofdeeltjes: eigenschappen van fijnstofdeeltjes die de afvangkans door een gewas beïnvloeden. Rapport 498, Plant Research International, Wageningen, 26 pp.
- Pronk A.A., H.J. Holterman, S. van der Meer, H. Erbrink & N. Ogink, 2014. Windtunnelonderzoek naar de doorstroming van groenelementen rondom een veehouderijbedrijf : effecten van groenelementen op de luchtkwaliteit rond stalgebouwen door doorstroming van geventileerde stallucht. Rapport 581, Plant Research International, Wageningen, 22 pp.
- Pronk A.A., N. Ogink, H.J. Holterman, P. Hofschreuder & I. Vermeij, 2013b. Effecten van groenelementen op de luchtkwaliteit: samenvattende rapportage en perspectieven toepassing groenelementen voor het verbeteren van de lokale luchtkwaliteit rondom stallen. Rapport 493, Plant Research International, Wageningen, 42 pp.
- Scholten R.D.A., J.J. Erbrink & A. Van Melle, 1998. Deelrapport IV: verbeterde gebouwmodule. *In* Het nieuwe Nationaal Model: Model voor de verspreiding van luchtverontreiniging uit bronnen over korte afstanden. Herziene versie maart 2002. pp. 234-296. Infomil, Den Haag.
- Winkel A., J. Mosquera, R.K. Kwikkel, F.A. Gerrits, N.W.M. Ogink & A.J.A. Aarnink, 2009. Fijnstofemissie uit stallen: vleeskuikens [Dust emission from animal houses: broilers]. Rapport 275, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad, 23 pp.
- Worley J.W., L.P. Naeher, M. Czarick, B.D. Fairchild, C.W. Ritz & E. Irvin-Barnwell, 2013. Monitoring of fine particulates downwind of broiler houses-A field study. Journal of Applied Poultry Research 22, 351-360.

Bijlage I.

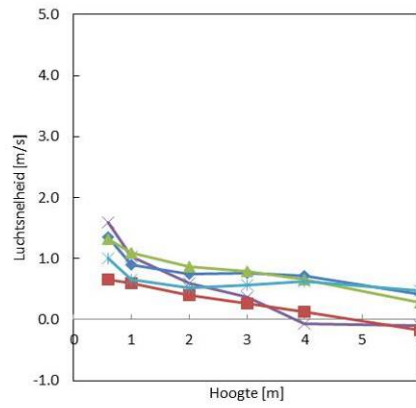
Resultaten van de luchtprofielen wind + ventilatoren (linker kolom) en ventilatoren (rechter kolom) voor de posities 1 t/m 7 voor ventilatorstoestand '0'



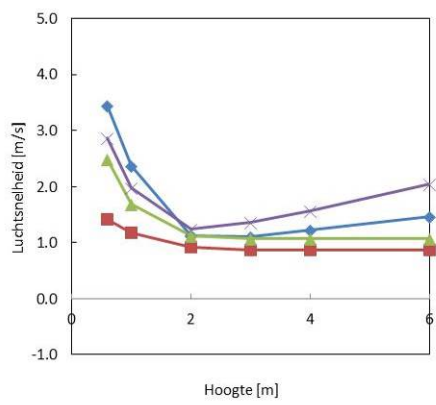
Positie 4



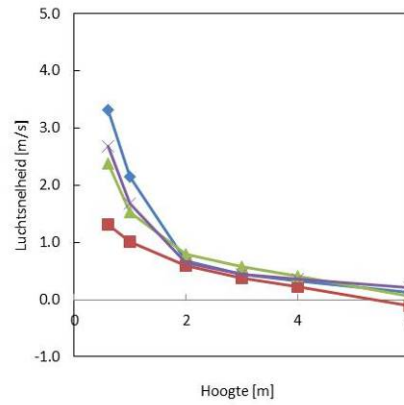
Positie 4



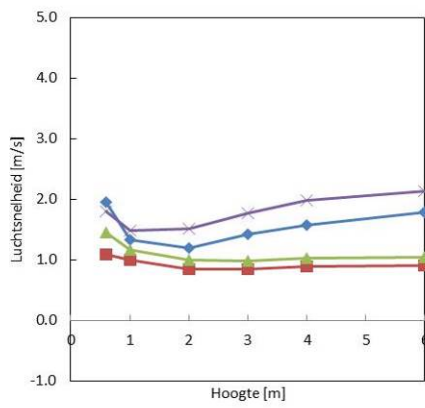
Positie 5



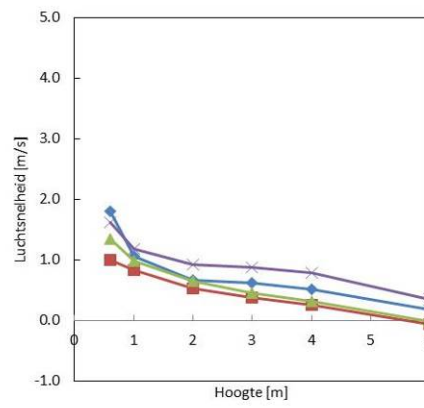
Positie 5



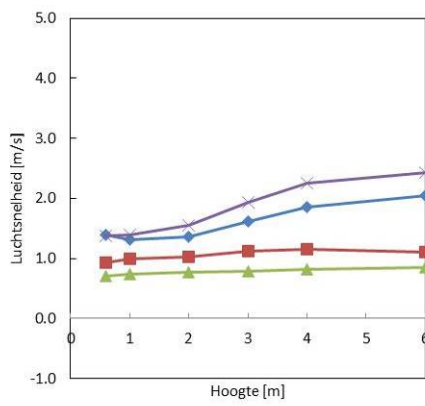
Positie 6



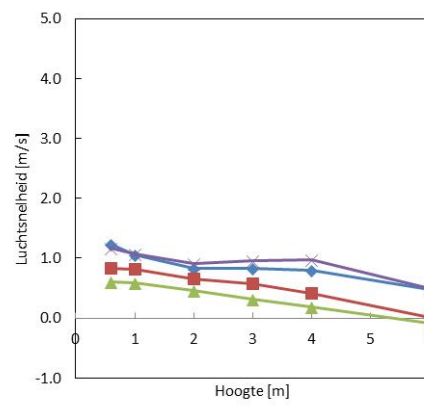
Positie 6



Positie 7

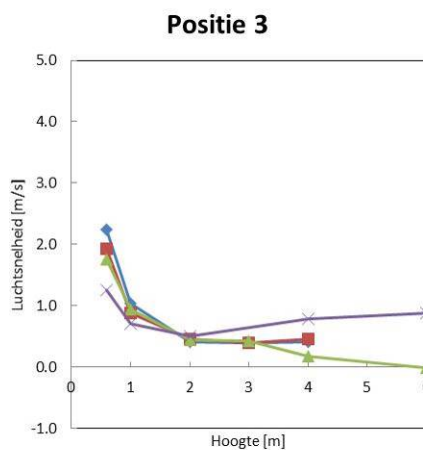
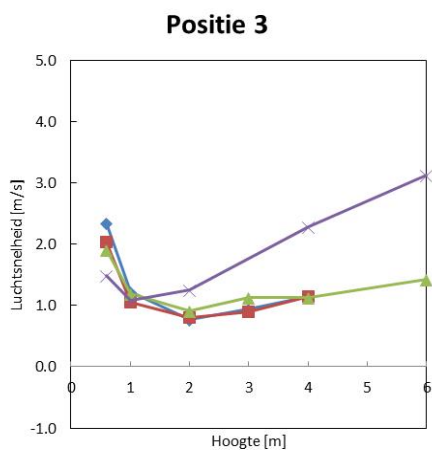
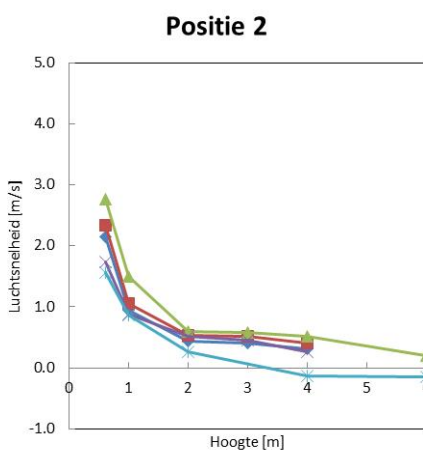
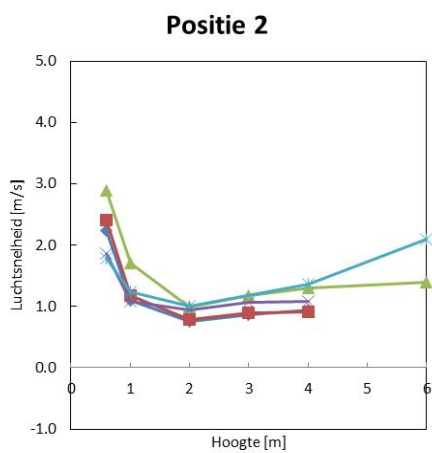
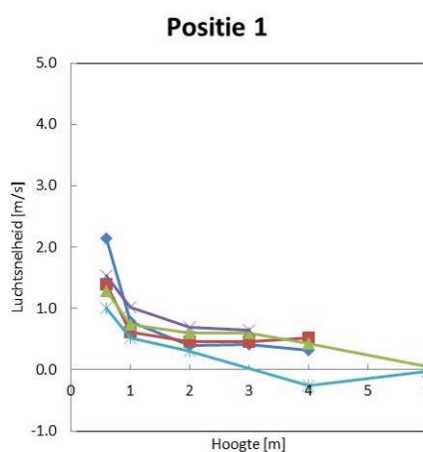
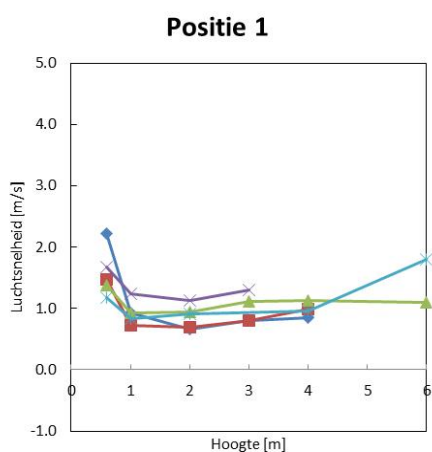


Positie 7

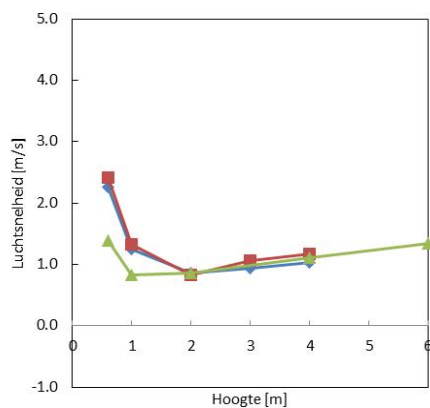


Bijlage II.

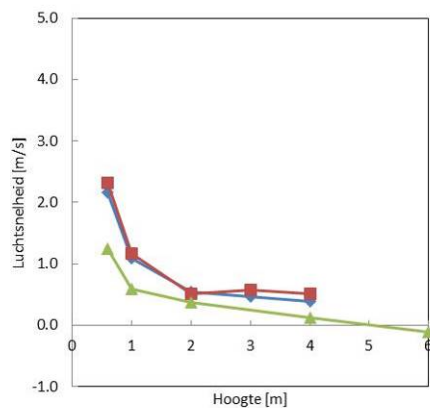
Resultaten van de luchtprofielen wind + ventilatoren (linker kolom) en ventilatoren (rechter kolom) voor de posities 1 t/m 7 voor ventilatortoestand 'R'



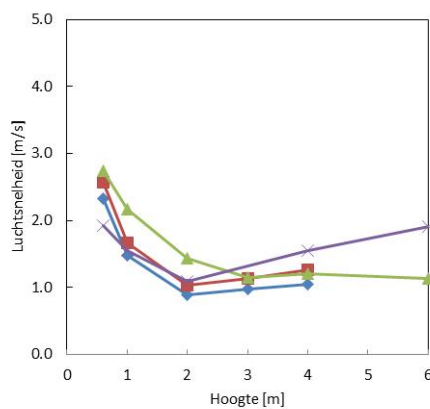
Positie 4



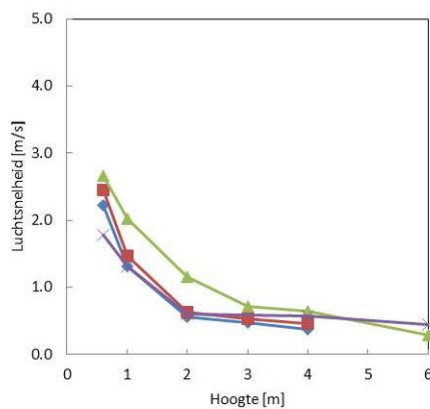
Positie 4



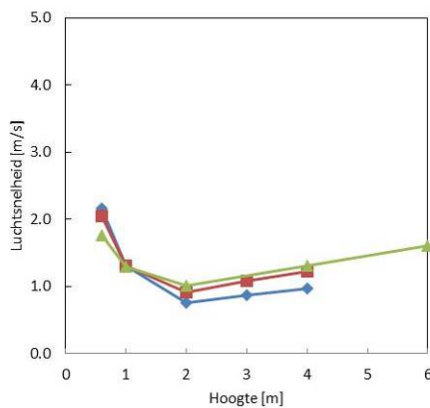
Positie 5



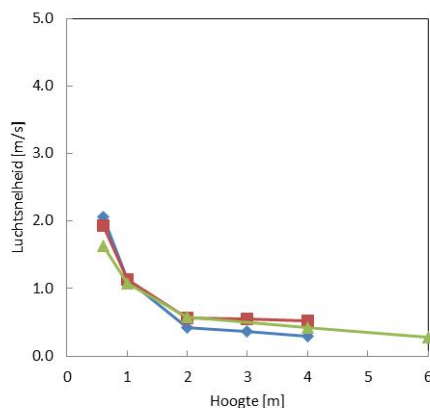
Positie 5

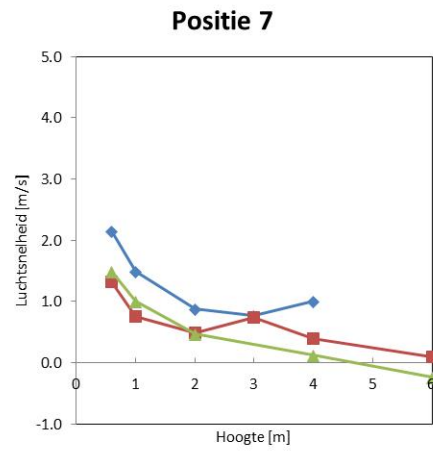
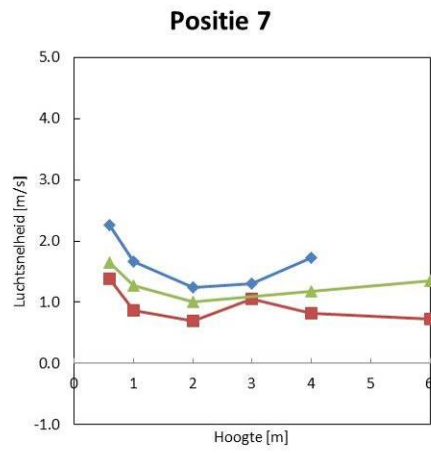


Positie 6



Positie 6





Bijlage III.

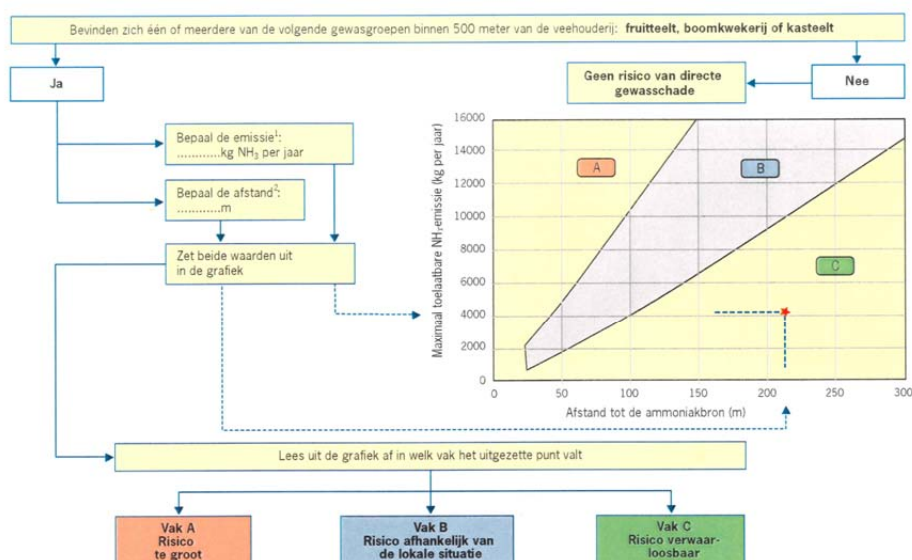
Risicoschatting van ammoniakschade aan gewassen in de directe omgeving van intensieve veehouderijbedrijven



Risicoschatting van ammoniakschade aan gewassen in de directe omgeving van intensieve veehouderijbedrijven

Aanvullende productinformatie

Beslisschema voor een snelle inventarisatie van risicovolle situaties rond varkens- en pluimveehouderijen



Indien blijkt dat het risico sterk afhankelijk is van de lokale situatie (vak B) kan het AB met behulp van een modelberekening een risicoschatting voor u uitvoeren, rekening houdende met de specifieke omstandigheden, zoals de aard van de bron, de plaats van het emissiepunt op de stal, de architectuur van het terrein rond de bron (zoals de aanwezigheid van windsingels), de windrichting en de regionale en lokale achtergrondconcentraties. Voor de twee andere categorieën spreekt de situatie voor zich: er is geen nadere berekening noodzakelijk.

¹ Bepaling van de emissie: emissie in kg NH₃ per dierplaats per jaar (Uitvoeringsregeling ammoniak en veehouderij) x aantal dierplaatsen

² Bij gelijkmatige verdeling van de emissie over de stallen: afstand (m) tussen het emissiezwartepunt van de bron en het dichtstbijzijnde punt van het perceel met het gevoelige gewas. Het emissiezwartepunt is het snijpunt van de diagonalen van de kleinste mogelijke rechthoek die het stallencomplex omgeeft (zie voorbeeld). Bij ongelijkmatige verdeling (bv stallen met dak en gevelventilatie): afstand (m) vanaf het 'gewogen' emissiezwartepunt ($\sum(\text{afstand} \times \text{emissie}) / \sum \text{emissies}$).

Voor grotere clusters van bedrijven, stallen die ver van elkaar liggen en andere diercategorieën geldt een aangepaste berekening.

Voor informatie hierover kunt u contact opnemen met het AB.



